

TUGAS AKHIR - TM 141585

# **DESAIN DAN ANALISIS RESPON GETAR *PUTTER* GOLF AKIBAT VARIASI MATERIAL PADA *PUTTER* *HEAD***

**SHEIYUANAURA IMARATIANTI**  
**NRP 2113 100 168**

**Dosen Pembimbing**  
**Suwarno, ST., MSc., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA 2017**

TUGAS AKHIR – TM141585

**DESAIN DAN ANALISIS RESPON GETAR *PUTTER*  
GOLF AKIBAT VARIASI MATERIAL PADA *PUTTER*  
*HEAD***

**SHEIYUANAURA IMARATIANTI**  
**NRP. 2113100168**

Dosen Pembimbing:  
**Suwarno, ST., MSc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT – TM141585

**DESIGN AND ANALYSIS OF PUTTER GOLF'S  
DYNAMIC RESPONSE DUE TO MATERIAL  
VARIATIONS IN PUTTER HEAD**

**SHEIYUANAURA IMARATIANTI  
NRP. 2113100168**

Advisor Lecturer  
**Suwarno, ST., MSc., Ph.D**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2017**

**DESAIN DAN ANALISIS RESPON GETAR *PUTTER*  
GOLF AKIBAT VARIASI MATERIAL PADA *PUTTER*  
HEAD**

**TUGAS AKHIR**

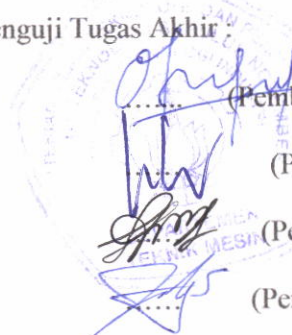
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**SHEIYUANAURA IMARATIANTI**

NRP. 2113 100 168

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Suwarno, ST., MSc., Ph.D  
NIP. 19800520 200501 1 003
  2. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.  
NIP. 19740703 200003 1 001
  3. Wahyu Wijanarko, ST., MSc.  
NIP. 19820209 201212 1 001
  4. Indra Sidharta ST., MSc.  
NIP. 19800619 200604 1 004
- 
- (Pembimbing)
- (Penguji I)
- (Penguji II)
- (Penguji III)

**SURABAYA**

**JULI, 2017**

## **DESAIN DAN ANALISIS RESPON GETAR *PUTTER GOLF* AKIBAT VARIASI MATERIAL PADA *PUTTER HEAD***

**Nama** : Sheiyuanaura Imaratianti  
**NRP** : 2113100168  
**Jurusan** : Teknik Mesin  
**Dosen Pembimbing** : Suwarno ST., MSc, PhD.

### **ABSTRAK**

Dalam bermain golf dibutuhkan beberapa peralatan yaitu bola golf, stik golf dan berbagai aksesoris pelengkap lainnya. Menurut fungsinya, stik golf terbagi menjadi beberapa jenis yaitu *Iron*, *Wood*, *Hybrid* dan *Putter*. *Putter* merupakan stik golf yang memiliki peranan penting dalam sebuah permainan golf. Bagian yang akan mengalami kontak langsung dengan bola adalah *putter head*. Ketika *putter head* mengalami kontak dengan bola, *putter golf* akan menghasilkan getaran. Respon getaran yang dihasilkan oleh *putter head* saat bertumbukkan dengan bola berkaitan dengan frekuensi natural yang dimiliki oleh stik golf. Dalam penelitian ini, akan dilakukan *experimental modal analysis* untuk mengetahui perbedaan respon getar dari stik golf jenis *putter* terhadap variasi material *putter head*.

Penelitian ini dilakukan dengan langkah awal melakukan perumusan masalah dan menentukan tujuan lalu melakukan studi literatur. Setelah studi literatur selesai, dilakukan desain dari bentuk *putter head*. Setelah proses desain, dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* dengan memvariasikan material *putter head* yaitu baja karbon AISI 1045 dan paduan aluminium 7075-T651 untuk mengetahui frekuensi natural serta *displacement* dari tiap variasi. Proses permesinan dengan menggunakan *CNC Machining* dilakukan pada material baja karbon AISI 1045 dan aluminium 7075 T-651. Setelah itu, *putter head* diuji dengan menggunakan *vibration testing* meter. Data yang didapat dari pengujian di proses dengan menggunakan *software Mathcad*. Hasil yang didapat dari *software Mathcad*

dianalisa. Usai menganalisa data, dibuat kesimpulan serta evaluasi dari penelitian ini.

Frekuensi natural dari hasil simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* pada *Odyssey White Steel 1 Putter* adalah 6.56 Hz, 7.64 Hz, 69.30 Hz, 83.46 Hz, 97.45 Hz dan 217.71 Hz. Hasil dari *experimental modal analysis* didapatkan dua buah frekuensi natural yaitu 5.99 Hz dan 51.99 Hz. Frekuensi natural dari simulasi dengan perangkat lunak *finite element* pada *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah 4.47 Hz, 4.51 Hz, 38.63 Hz, 41.12 Hz, 60.74 Hz dan 99.62 Hz. Adapun hasil *experimental modal analysis* didapatkan dua frekuensi natural yaitu 6.99 Hz dan 40.94 Hz. Frekuensi natural dari simulasi dengan perangkat lunak *finite element* pada *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 adalah 6.87 Hz, 6.92 Hz, 50.18 Hz, 51.71 Hz, 74.42 Hz, 124.30 Hz. Adapun hasil dari *experimental modal analysis* didapatkan dua frekuensi natural 8.99 Hz dan 55.92 Hz. Modus getar (*mode shapes*) dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 dan *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 dari hasil *experimental modal analysis* tidak dapat dibandingkan dikarenakan adanya perbedaan massa dari keduanya. Untuk membandingkan respon getar dari tiap *putter golf* selain digunakan desain yang sama diperlukan jumlah massa yang sama dari tiap *putter golf* yang akan diuji.

**Kata Kunci : Baja Karbon AISI 1045, *Experimental Modal Analysis*, Modus Getar (*Mode Shapes*), Paduan Aluminium 7075-T651, *Vibration Testing Meter*.**

# ***DESIGN AND ANALYSIS OF PUTTER GOLF'S DYNAMIC RESPONSE DUE TO MATERIAL VARIATIONS IN PUTTER HEAD***

**Name** : Sheiyuanaura Imaratianti  
**NRP** : 2113100168  
**Department** : Mechanical Engineering  
**Advisor Lecturer** : Suwarno ST., MSc, PhD.

## ***ABSTRACT***

*Golf is played by individuals or teams who race to enter a golf ball with minimum number of strikes. The equipments needed to play golf are golf clubs, and various other complementary accessories. According to its function, golf clubs are divided into several types that are Iron, Wood, Hybrid and Putter. Putter is a golf club that has an important role in a golf game. Putter head is the part that will directly collided to a golf ball. When the putter head and a golf ball collide, the putter head will generate vibrating response that can affect the movement of a golf ball. The vibrating response generated by the putter head is related to its natural frequencies. Experimental modal analysis is done to find out the difference of vibration response between putter golf with various kinds of material in putter head.*

*This research started with defining the problem and determining the purpose and then doing literature study. After the literature study is completed, design of the putter head is made. After that, simulation process is done by using finite element software with varying material of putter head to discover natural frequencies and displacement of each variations. Machining process of AISI 1045 carbon steel and aluminium alloy 7075-T651 is done by using CNC Machine. Putter head is tested using vibration testing meter. The data obtained is then processed using Mathcad. After that, the results from Mathcad software are analyzed. After analyzing the data, conclusions and evaluation of this research is made.*

*The natural frequencies obtained from the simulation process on Odyssey White Steel 1 Putter are 6.56 Hz, 7.64 Hz, 69.30 Hz, 83.46 Hz, 97.45 Hz and 217.71 Hz. The results from experimental modal analysis obtained two natural frequencies that are 5.99 Hz and 51.99 Hz. The natural frequencies obtained from the simulation process on golf putter with AISI 1045 carbon steel head are 4.47 Hz, 4.51 Hz, 38.63 Hz, 41.12 Hz, 60.74 Hz and 99.62 Hz. The results from experimental modal analysis obtained two natural frequencies that are 6.99 Hz and 40.94 Hz. The natural frequencies obtained from the simulation process on golf putter with aluminum alloy 7075-T651 putter head are 6.87 Hz, 6.92 Hz, 50.18 Hz, 51.71 Hz, 74.42 Hz, 124.30 Hz. The results from experimental modal analysis obtained two natural frequencies that are 8.99 Hz and 55.92 Hz. Mode shapes of a golf putter with AISI 1045 carbon steel putter head and a golf putter with a 7075-T651 aluminum alloy putter head from experimental modal analysis results can not be compared due to mass discrepancy.*

**Keywords :** AISI 1045 Carbon Steel, Aluminium Alloy 7075-T651, Experimental Modal Analysis, Mode Shapes, Vibration Testing Meter.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur dihaturkan kehadiran Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, yang telah melimpahkan segala berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **Desain dan Analisis Respon Getar Putter Golf Akibat Variasi Material pada Putter Head**. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih dan memberikan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah tercinta **Teguh Iman Liestyanto,SH** selaku sponsor utama penulis yang selalu memberikan doa serta pesan positif selama penulis berkuliah. Mengajarkan penulis untuk tetap berusaha keras dalam keadaan apapun dan selalu bahagia dengan keadaan yang ada.
2. Ibu tercinta **Dinar Nusanti,SH** sang *superwomen* selaku motivator yang siap sedia 24 jam. Terimakasih untuk selalu mendukung serta menyemangati apapun kegiatan yang dilakukan. Terimakasih selalu menjadi pendengar yang baik ya ma.
3. Bapak **Suwarno, ST., MSc., Ph.D** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan serta melakukan banyak pengorbanan demi terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Bapak **Dr.Eng. Sutikno, ST., MSc.**, Bapak **Wahyu Wijanarko ST., MSc.**, serta Bapak **Indra Sidharta, ST., MSc.**, yang telah memberikan saran dan masukan guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.
5. Bapak **Dr. Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc.** selaku dosen wali yang telah memberi bimbingannya selama kuliah di Teknik Mesin.
6. **Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. Suhardjono, MSc.** serta **Bapak Oegik** atas waktu serta kesediaannya dalam membantu proses pengambilan data pada Tugas Akhir ini.

7. Adik tercinta **Yusuf Rizaldy Rafidianto** dan **Yahya Hukama Javierdianto** yang telah memberikan motivasi selama penulis berkuliah. Semoga cepat sarjana juga ya dek.
8. **Republik Metalurgi Raya** khususnya **Laskar Yanglek (Audrey, Shofia, Anggita, Safaat, Ridho, Presiden Arya, Luthfan, Gregorius, dll.)** yang mewarnai hari-hari penulis selama mengerjakan Tugas Akhir, tempat mencurahkan keluh kesah dan kegembiraan selama mengerjakan Tugas Akhir.
9. Keluarga **Mesin ITS Autosport** khususnya **MAUTS 13 (Fahmi, Anna, Bima, Corry, Ricky, Joko, Rizqu, Nyoman, Ananta)** dan abang, kakak serta adik **Yordian, Dias, Danan, Budhita, Bobo, Bustan, Faiz, Moses, Jagang, Norman** atas dukungannya selama masa perkuliahaan dan berorganisasi. Suatu kebanggaan pernah memiliki keluarga seperti kalian. Vivat Brotherhood!
10. Sahabat terbaik **Ricky Bramudia Kurniawan** dan **Husen Haekal** yang selalu setia menemani penulis dalam suka dan duka diperkuliahkan. Pemberi motivasi terbesar di Surabaya. Terimakasih atas makna hidup yang telah diberikan. Sukses untuk kita semua!
11. Teman sedari mahasiswa baru **Devi Maharani Kosa** dan **Audrey Surya Prameswari** yang telah menempuh hujatan serta cacian bersama hingga akhirnya sarjana bersama.
12. Teman-teman seperantauan **GestavoGrazia Surabaya (Nadia, Avi, Resa, Achmad, Tia, dll)** selaku hiburan instan ketika Tugas Akhir jalan di tempat.
13. **Teknik Mesin ITS angkatan 2013** khususnya **M-56** dan **ITS Team Sapuangin** yang membantu proses pembuatan stik golf hingga pengambilan data selesai.
14. Laskar MAUTS-116 khususnya dua abang penulis **Raja Barita** dan **Wira Ashari** selanjutnya **Muhammad Ihsan**, dan **Bagus Widoto** yang membantu menyelesaikan masalah-masalah dalam Tugas Akhir penulis.
15. **JANGAN BUBAR** khususnya **XOXO (RR. Syahnaz, Tiara Sari, Karina Hikmamondina, Syally Armelita, Levita**

**Savitry), Rachel Amanda, Difa Raksa dan Ariza Rufaidah** yang selalu setia mendengarkan keluh kesah penulis dalam masa perkuliahan.

16. **Roby Kurniawan** yang selalu menghibur penulis dalam keadaan apapun. Baik senang maupun susah dan selalu siap sedia 24/7.
17. **Seluruh karyawan Teknik Mesin FTI-ITS dan Mas Juni** yang telah membantu proses pembuatan stik dari material mentah hingga berbentuk.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR ISI

### HALAMAN JUDUL

### LEMBAR PENGESAHAN

### ABSTRAK .....vii

### ABSTRACT .....ix

### KATA PENGANTAR .....xi

### DAFTAR ISI .....xv

### DAFTAR GAMBAR .....xix

### DAFTAR TABEL .....xxv

### BAB I PENDAHULUAN ..... 1

#### 1.1 Latar Belakang..... 1

#### 1.2 Perumusan Masalah..... 2

#### 1.3 Batasan Masalah..... 2

#### 1.4 Tujuan Penelitian..... 3

#### 1.5 Manfaat Penelitian..... 3

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....5

#### 2.1 *Putter Golf*.....5

##### 2.1.1 Jenis *Putter* Menurut Letak Pusat Massa ..... 6

##### 2.1.2 Jenis *Putter* Menurut Bentuk Kepala (*Head*) ..... 7

##### 2.1.3 Desain *Putter* ..... 8

#### 2.2 Baja Karbon (*Carbon Steel*) AISI 1045 ..... 9

#### 2.3 Paduan Aluminium (*Aluminium Alloys*) 7075-T651 .... 9

#### 2.4 *CNC Machining*..... 10

#### 2.5 Frekuensi Natural ..... 11

#### 2.6 Modus Getar (*Mode Shape*)..... 11

2.7	Analisis Modus Getar (Analisis Modal).....	13
2.8	<i>Clamped Free Boundary Condition</i> .....	16
<b>BAB III METODOLOGI.....</b>		<b>17</b>
3.1	Diagram Alir.....	17
3.1.1	Diagram Alir Penelitian.....	17
3.1.2	Diagram Alir Simulasi.....	18
3.1.3	Diagram Alir <i>Experimental Modal Analysis</i> .....	19
3.2	Peralatan dan Bahan .....	20
3.3	Langkah – langkah Penelitian .....	20
3.3.1	Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian.....	20
3.3.2	Studi Literatur.....	20
3.3.3	Desain.....	21
3.3.4	Simulasi .....	22
3.3.5	Proses Pembuatan <i>Putter Head</i> dengan <i>CNC Machining</i> .....	24
3.3.6	Proses Persiapan .....	24
3.3.7	Pengujian <i>Putter Golf</i> .....	26
3.3.8	Pengolahan Data Eksperimen.....	26
3.3.9	Analisa Hasil Eksperimen .....	27
3.4	Alat Bantu Penelitian.....	27
3.4.1	<i>Impulse Hammer</i> Tipe IH 101-1K Omega .....	27
3.4.2	<i>Power Supply</i> ACC-PS1 Omega .....	28
3.4.3	<i>Analog to Digital Converter</i> Tipe ADC-214 <i>Pico Technology</i> .....	28
3.4.4	<i>General Purpose Accelerometer</i> Tipe Omega....	29

3.4.5	Instalasi Alat Uji Eksitasi ( <i>Vibration Testing Meter</i> ) .....	29
3.5	Langkah Kerja <i>Experimental Modal Analysis</i> .....	30
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b> .....		35
4.1	Analisa Data Awal .....	35
4.2	Simulasi Modal pada <i>Putter Golf</i> terhadap Variasi Material pada <i>Putter Head</i> .....	39
4.2.1	<i>Odyssey White Steel 1 Putter</i> .....	39
4.2.2	<i>Putter Golf</i> dengan Material <i>Putter Head</i> Baja Karbon AISI 1045 .....	48
4.2.3	<i>Putter Golf</i> dengan Material <i>Putter Head</i> Paduan Aluminium 7075-T651 .....	57
4.2.4	Perbandingan Frekuensi Natural serta Modus Getar ( <i>Mode Shapes</i> ) tiap Material .....	66
4.3	<i>Experimental Modal Analysis</i> pada <i>Putter Golf</i> terhadap Variasi Material pada <i>Putter Head</i> .....	69
4.3.1	<i>Experimental Modal Analysis Odyssey White Steel 1 Putter</i> .....	70
4.3.2	<i>Putter Golf</i> dengan Material <i>Putter Head</i> Baja Karbon AISI 1045 .....	73
4.3.3	<i>Putter Golf</i> dengan Material <i>Putter Head</i> Paduan Aluminium 7075-T651 .....	78
4.4	Perbandingan Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) pada Frekuensi Natural Pertama .....	82
4.4.1	Perbandingan Grafik Modus Getar pada Poros ( <i>Shaft</i> ) .....	82
4.4.2	Perbandingan Harga <i>Compliance</i> Rata-Rata pada <i>Putter Head</i> .....	84
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		87

5.1	Kesimpulan.....	87
5.2	Saran.....	89
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>91</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>		<b>93</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> <i>Golf Putter</i> .....	5
<b>Gambar 2. 2 (a)</b> <i>Face Weighted Putter</i> .....	6
<b>Gambar 2. 2 (b)</b> <i>Toe Weighted Putter</i> .....	6
<b>Gambar 2. 2 (c)</b> <i>Toe Weighted Putter</i> .....	6
<b>Gambar 2. 2 (d)</b> <i>Toe Weighted Putter</i> .....	6
<b>Gambar 2. 3</b> <i>Desain Putter Head Menurut Regulasi United States Golf Association (USGA)</i> .....	8
<b>Gambar 2. 4</b> <i>Skema Kerja CNC Machine</i> .....	11
<b>Gambar 2. 5 (a)</b> <i>Modus Getar Batang Kantilever Tanpa Penjepit</i> .....	12
<b>Gambar 2. 5 (b)</b> <i>Modus Getar Batang Kantilever Dijepit pada Kedua Ujungnya</i> .....	12
<b>Gambar 2. 6</b> <i>Experimental Modal Analysis</i> .....	14
<b>Gambar 2. 7</b> <i>Representasi Sinyal Getaran: (a) Domain Waktu, (b) Domain Frekuensi, (c) Domain Waktu dalam Bentuk Diskrit<sup>[19]</sup></i> .....	15
<b>Gambar 2. 8</b> <i>Instalasi Clamped-Free Boundary Condition</i> .....	16
<b>Gambar 3. 1</b> <i>Diagram Alir Penelitian</i> .....	17
<b>Gambar 3. 2</b> <i>Diagram Alir Proses Simulasi</i> .....	18
<b>Gambar 3. 3</b> <i>Diagram Alir Experimental Modal Analysis</i> .....	19
<b>Gambar 3. 4</b> <i>Desain Putter Head Tampak Depan</i> .....	21
<b>Gambar 3. 5</b> <i>Desain Putter Head Tampak Belakang</i> .....	21
<b>Gambar 3. 6</b> <i>Desain Putter Head Tampak Kanan</i> .....	22
<b>Gambar 3. 7</b> <i>Desain Putter Head Tampak Kiri</i> .....	22
<b>Gambar 3. 8</b> <i>Desain Putter Head Tampak Atas</i> .....	22
<b>Gambar 3. 9</b> <i>Desain Putter Head Tampak Bawah</i> .....	22
<b>Gambar 3. 10</b> <i>Hasil Simulasi Modal</i> .....	24
<b>Gambar 3. 11</b> <i>Plot Titik Uji Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 dan Paduan Aluminium 7075-T651</i> .....	25

<b>Gambar 3. 12</b>	Plot Titik Uji Odyssey White Steel 1 Putter. ....	25
<b>Gambar 3. 13</b>	<i>Impulse Hammer</i> Tipe IH 101-1K Omega <sup>[15]</sup> .....	27
<b>Gambar 3. 14</b>	Power Supply ACC-PS1 Omega.....	28
<b>Gambar 3. 15</b>	<i>Analog to Digital Converter</i> Tipe ADC-214 <i>Pico-Technology</i> . ....	28
<b>Gambar 3. 16</b>	General Purpose Accelerometer Tipe Omega. ...	29
<b>Gambar 3. 17</b>	Instalasi Alat Uji Eksitasi <sup>[15]</sup> (Vibration Testing Meter). ....	29
<b>Gambar 3. 18</b>	Set-up Perangkat Lunak Picoscope6. ....	30
<b>Gambar 3. 19</b>	Pemberian Gaya Eksitasi pada Putter Golf. ....	30
<b>Gambar 3. 20</b>	Contoh Data dalam Format Text Document (.txt). ....	31
<b>Gambar 3. 21</b>	Contoh Data dalam Format Picoscope Data File.31	
<b>Gambar 3. 22</b>	Hasil Pengolahan Data dengan Perangkat Lunak Mathcad Berupa Compliance terhadap Frekuensi Natural. ....	32
<b>Gambar 3. 23</b>	Hasil Pengolahan Data dengan Perangkat Lunak Mathcad Berupa Sudut Fasa terhadap Frekuensi Natural. ....	32
<b>Gambar 4. 1</b>	<i>Putter Head</i> dari <i>Odyssey White Steel 1 Putter</i> . ....	36
<b>Gambar 4. 2</b>	Poros (Shaft) dari <i>Odyssey White Steel 1 Putter</i> . ....	36
<b>Gambar 4. 3</b>	Pegangan (Grip) dari <i>Odyssey White Steel 1 Putter</i> . ....	36
<b>Gambar 4. 4</b>	Putter Head Baja Karbon Tampak Depan. ....	37
<b>Gambar 4. 5</b>	Putter Head Baja Karbon Tampak Belakang. ....	37
<b>Gambar 4. 6</b>	Putter Head Paduan Aluminium Tampak Depan. ....	38
<b>Gambar 4. 7</b>	Putter Head Paduan Aluminium Tampak Belakang. ....	38
<b>Gambar 4. 8</b>	Pegangan (Grip). ....	38
<b>Gambar 4. 9</b>	Poros (Shaft). ....	39
<b>Gambar 4. 10</b>	Modus Getar (Mode Shape) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 6.56 Hz. ....	40

<b>Gambar 4. 11</b> (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 6.56 Hz. ....	41
<b>Gambar 4. 12</b> Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 7.64 Hz. ....	42
<b>Gambar 4. 13</b> (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 7.64 Hz. ....	42
<b>Gambar 4. 14</b> Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 69.30 Hz. ....	43
<b>Gambar 4. 15</b> (a) Letak <i>Displacement</i> Minimum dan (b) Letak <i>Displacement</i> Maksimum pada frekuensi natural 69.30 Hz. ....	44
<b>Gambar 4. 16</b> Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 83.46 Hz. ....	45
<b>Gambar 4. 17</b> (a) Letak <i>Displacement</i> Minimum dan (b) Letak <i>Displacement</i> Maksimum pada frekuensi natural 83.46 Hz. ....	45
<b>Gambar 4. 18</b> Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 97.45 Hz. ....	46
<b>Gambar 4. 19</b> (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 97.45 Hz. ....	47
<b>Gambar 4. 20</b> Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 217.71 Hz. ....	47
<b>Gambar 4. 21</b> (a) Letak <i>Displacement</i> Minimum dan (b) Letak <i>Displacement</i> Maksimum pada frekuensi natural 217.71 Hz. ....	48
<b>Gambar 4. 22</b> Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 4.47 Hz....	49
<b>Gambar 4. 23</b> (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 4.47 Hz. ....	50
<b>Gambar 4. 24</b> Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 4.51 Hz. ...	52
<b>Gambar 4. 25</b> (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 4.51 Hz. ....	53

- Gambar 4. 26** Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 38.63 Hz.. 53
- Gambar 4. 27** (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 38.63 Hz. .... 54
- Gambar 4. 28** Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 41.12 Hz. . 54
- Gambar 4. 29** (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 41.12 Hz. .... 55
- Gambar 4. 30** Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 60.74 Hz. . 55
- Gambar 4. 31** (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 60.74 Hz. .... 56
- Gambar 4. 32** Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 99.62 Hz.. 56
- Gambar 4. 33** (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 99.62 Hz. .... 57
- Gambar 4. 34** Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 6.87 Hz. .... 58
- Gambar 4. 35** (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 6.87 Hz. .... 59
- Gambar 4. 36** Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 6.92 Hz. .... 61
- Gambar 4. 37** (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 6.92 Hz. .... 62
- Gambar 4. 38** Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 50.18 Hz. .... 62
- Gambar 4. 39** (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 50.18 Hz. .... 63

Gambar 4. 40 Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 51.71 Hz.....	63
<b>Gambar 4. 41</b> (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 51.71 Hz. ....	64
<b>Gambar 4. 42</b> Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 74.42 Hz. ....	64
<b>Gambar 4. 43</b> (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 74.42 Hz. ....	65
<b>Gambar 4. 44</b> Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 124.3 Hz.....	65
<b>Gambar 4. 45</b> (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 124.3 Hz. ....	66
<b>Gambar 4. 46</b> Grafik Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Odyssey White Steel 1 Putter pada Frekuensi Natural Pertama. ....	70
<b>Gambar 4. 47</b> Grafik Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Odyssey White Steel 1 Putter pada Frekuensi Natural Kedua. ....	72
<b>Gambar 4. 48</b> Grafik Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada Frekuensi Natural Pertama. ....	74
<b>Gambar 4. 49</b> Grafik Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada Frekuensi Natural Kedua.....	76
<b>Gambar 4. 50</b> Grafik Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada Frekuensi Natural Pertama. ....	78
<b>Gambar 4. 51</b> Grafik Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> ) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada Frekuensi Natural Kedua. ....	80

**Gambar 4. 52** Grafik Modus Getar (Mode Shapes) Poros (Shaft) dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 dan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada Frekuensi Natural Pertama. 83

**Gambar 4. 53** Grafik Modus Getar (Mode Shapes) Putter Head dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 dan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada Frekuensi Natural Pertama. 84

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> <i>Mechanical Properties of AISI 1045</i> .....	9
<b>Tabel 2.2</b> <i>Mechanical Properties of AISI 7075-T651</i> .....	10
<b>Tabel 4.1</b> Frekuensi Natural pada <i>Odyssey White Steel 1 Putter</i>	40
<b>Tabel 4.2</b> Frekuensi Natural pada <i>Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045</i> .....	48
<b>Tabel 4.3</b> Frekuensi Natural pada <i>Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651</i> .....	57
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Simulasi <i>Odyssey White Steel 1 Putter, Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 dan Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651</i> .....	68
<b>Tabel 4.5</b> <i>Compliance dan Sudut Fasa Odyssey White Steel 1 Putter</i> pada Frekuensi Natural Pertama.....	71
<b>Tabel 4.6</b> <i>Compliance dan Sudut Fasa Odyssey White Steel 1 Putter</i> pada Frekuensi Natural Kedua .....	73
<b>Tabel 4.7</b> <i>Compliance dan Sudut Fasa Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045</i> pada Frekuensi Natural Pertama .	75
<b>Tabel 4.8</b> <i>Compliance dan Sudut Fasa Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045</i> pada Frekuensi Natural Kedua ...	77
<b>Tabel 4.9</b> <i>Compliance dan Sudut Fasa Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651</i> pada Frekuensi Natural Pertama .....	79
<b>Tabel 4.10</b> <i>Compliance dan Sudut Fasa Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651</i> pada Frekuensi Natural Kedua.....	81
<b>Tabel 4.11</b> Hasil <i>Experimental Modal Analysis</i> pada <i>Odyssey White Steel 1 Putter, Putter Golf dengan Putter Head Baja</i>	

Karbon AISI 1045 dan *Putter Golf* dengan *Putter Head* Paduan  
Aluminium 7075-T651 ..... 82



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Golf merupakan olahraga yang sudah ada sejak 100 tahun sebelum masehi, pertama kali dimainkan oleh bangsa Romania dengan menggunakan stik yang dibengkokkan dan bola yang terbuat dari kulit<sup>[1]</sup>. Seiring dengan perkembangan zaman, olahraga golf terus berkembang dan menyebar di seluruh dunia. Pada tahun 1966, berdirilah Persatuan Golf Indonesia (PGI) sebagai badan yang menaungi olahraga golf amatir nasional di tanah air<sup>[2]</sup>.

Terdapat beberapa peralatan yang dibutuhkan oleh pemain golf, dua di antaranya adalah bola golf dan stik golf. Selain itu dalam bermain golf, dibutuhkan beberapa pelengkap seperti sepatu khusus golf, sarung tangan khusus dan *tee* (pasak)<sup>[3]</sup>. Pada awalnya stik golf terbuat dari bahan kayu, namun seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi kini stik golf terbuat dari berbagai macam material mulai dari kayu, karbon, baja maupun besi. Menurut fungsinya stik golf dapat dibedakan menjadi empat yaitu, *wood*, *iron*, *hybrid* dan *putter*. Dari keempat jenis stik golf, *putter* memiliki peranan hingga 70% dalam permainan golf<sup>[16]</sup>.

*Putter* merupakan stik golf yang digunakan untuk melakukan pukulan jarak dekat dengan kecepatan rendah. *Putter* pada umumnya digunakan pada pukulan-pukulan akhir yang digunakan untuk memasukkan bola golf ke dalam lubang (*hole*) dari jarak dekat (*putting green area*)<sup>[4]</sup>. Menurut letak pusat massanya, *putter* dibagi menjadi dua jenis yaitu *toe weighted* dan *face weighted*. Sementara menurut bentuknya, *putter* dibagi menjadi tiga jenis yaitu *blade putter*, *mallet putter* dan *futuristic putter*<sup>[5]</sup>. Menurut *survey* yang telah dilakukan didapat 61% pemain golf menggunakan *toe weighted* dan 68% pemain golf menggunakan *blade putter*.

*Putter* terdiri dari beberapa bagian, yaitu, *head*, *hosel*, *shaft* dan *grip*. Dari beberapa bagian yang ada, *head* merupakan bagian yang mengalami kontak secara langsung dengan bola golf. Maka

dari itu, material serta bentuk dari *head* sangat penting. *Putter head* yang berada di pasaran dibuat dengan berbagai macam material mulai dari aluminium, *stainless steel*, hingga logam paduan. Setiap material tentunya memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Adanya perbedaan karakteristik dari tiap-tiap material akan menyebabkan perbedaan respon terhadap tumbukkan yang dapat menimbulkan getaran. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis modal pada tiga macam *putter golf* yang berbeda yaitu *odyssey white steel* 1 *putter* yang selanjutnya akan digunakan sebagai acuan stik golf yang dijual di pasaran, *golf putter* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 dan *golf putter* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 guna mengetahui perbedaan respon getar yang dihasilkan dari tiap-tiap material.

## 1.2 Perumusan Masalah

Tiap material tentunya memiliki karakteristik yang berbeda-beda. *Putter head* yang berada di pasaran sekarang terbuat dari berbagai macam material. Adanya perbedaan karakteristik dari material ternyata menghasilkan respon yang berbeda-beda terhadap getaran yang dihasilkan ketika digunakan untuk memukul bola golf. Respon getar yang terjadi pada tiap-tiap material berhubungan erat dengan modus getar. Maka, perlu diketahui bagaimana respon getar yang ada pada *putter golf* ketika terdapat variasi material pada *putter head*.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan mencapai tujuan yang diinginkan, maka diperlukan adanya batasan masalah yaitu:

1. Pembentukan *putter head* dari tiap-tiap material menggunakan proses *CNC Machining*
2. Desain yang digunakan dalam penelitian ini sama.

3. Parameter yang digunakan dalam mendesain *putter head* adalah regulasi dari *United States Golf Association (USGA)* dan *PING Anser Karsten TR Putter*.
4. *Shaft* dan *grip* yang digunakan pada saat pengujian sama untuk tiap material.
5. Uji eksitasi dilakukan pada titik yang sama pada tiap material.
6. Sifat mekanik material dianggap konstan selama penelitian.
7. Frekuensi natural serta respon getar, ditinjau terhadap sumbu datangnya gaya.
8. Kondisi batas (*boundary condition*) pada analisis modal adalah *clamped-free*.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan hasil sebagai berikut :

1. Mengetahui respon getar *putter golf* terhadap frekuensi natural yang dihasilkan.
2. Mengetahui perbandingan respon getar yang dihasilkan oleh *putter golf* dengan material berbeda pada *putter head*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan antara lain :

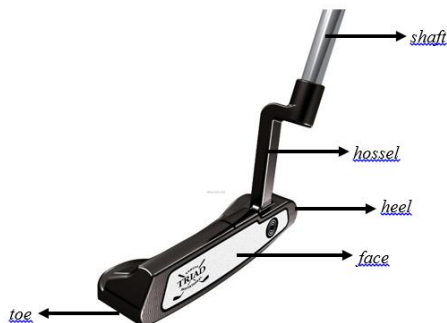
- a. Bagi dunia industri yang memproduksi stik golf (*clubs*) pada khususnya *putter* dapat menjadikan penelitian ini sebagai pertimbangan dalam melakukan pemilihan material pada saat produksi.
- b. Bagi pemain atau atlet golf, dengan adanya penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan atau pertimbangan dalam membeli *golf putter* yang tepat dari berbagai material yang diuji.
- c. Bagi kalangan akademis terutama mahasiswa, diharapkan dapat mengaplikasikan ilmu yang didapat selama masa

perkuliahan pada permasalahan-permasalahan di bidang industri.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Putter Golf*



Gambar 2. 1 *Golf Putter*.

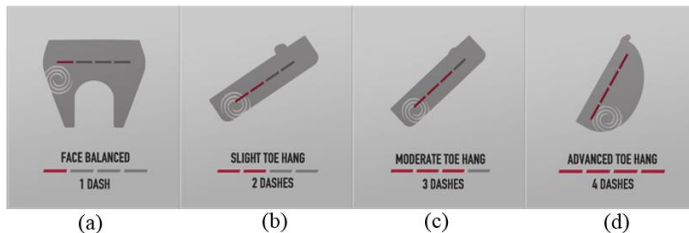
Stik golf atau *club* merupakan alat yang digunakan oleh pemain golf untuk memukul bola. Menurut fungsinya stik golf dibagi menjadi tiga jenis yaitu *iron*, *wood* dan *putter*. Sebuah *putter* merupakan stik dengan besar sudut *loft* tidak lebih dari 10<sup>o</sup>[6]. *Putter* digunakan oleh pemain golf pada area *putting green*, yaitu area dimana terdapatnya *hole* atau *cup* untuk memasukkan bola<sup>[7]</sup>. Sehingga *putter* merupakan stik yang digunakan untuk menghasilkan pukulan dengan kecepatan rendah dengan gaya yang relatif kecil<sup>[4]</sup>.

*Putter* terdiri dari empat bagian utama yaitu kepala (*head*), leher (*hosel*), poros (*shaft*), dan pegangan (*grip*) seperti tampak pada gambar 2.1. Bagian kepala atau *head* merupakan bagian yang digunakan untuk memukul bola. *Head* sendiri terdiri dari beberapa bagian yaitu *heel*, *toe*, dan *face*. Dari ketiga bagian tersebut yang akan mengalami kontak langsung dengan bola adalah bagian *face*. Berat dari *head* bervariasi mulai dari 300 – 400 gram. *Hosel* atau leher merupakan komponen penyambung poros (*shaft*) dengan

bagian kepala (*head*). *Shaft* atau poros merupakan tabung silinder yang terbuat dari logam atau serat karbon, pada instalasinya *shaft* berada di antara *hossel* dan *grip*. Diameter dari *shaft* 0.5 in atau 1.27 cm dengan panjang yang bervariasi mulai dari 33 – 48 in atau setara dengan 86 – 122 cm. *Grip* atau pegangan merupakan bagian dari *putter* yang akan dipegang atau mengalami kontak langsung dengan tangan pemain golf. Material dari *grip* bermacam-macam mulai dari kulit, karet, dan komposit. Dimensi dari *grip* dapat diatur sesuai dengan keinginan dari pemain golf<sup>[8]</sup>.

Terdapat berbagai macam bentuk serta jenis dari *putter* yang berada di pasaran. Namun, *putter* sendiri dapat dikelompokkan menurut letak pusat massa, dan bentuknya. Menurut letak pusat massanya *putter* dibagi menjadi dua yaitu *toe weighted* dan *face weighted*. Sementara menurut bentuk kepalanya (*head*), *putter* dibagi menjadi tiga yaitu *blade putter*, *mallet putter* dan *futuristic*.

### 2.1.1 Jenis *Putter* Menurut Letak Pusat Massa



Gambar 2. 2 (a) Face Weighted Putter, (b),(c) dan (d) Toe Weighted Putters.

Gambar 2.2 merupakan jenis jenis *putter golf* yang dikategorikan menurut letak pusat massanya. Menurut letak pusat massa, *putter* dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu :

#### a. *Toe Weighted Putter*

Merupakan jenis *putter* dimana letak pusat massanya terdapat pada bagian *toe* (ujung yang berlawanan dengan letak *hossel*). *Toe weighted putter* merupakan jenis *putter* yang kebanyakan dimiliki oleh pemain golf. Arah pukulan yang dihasilkan oleh *toe weighted*

*putter* adalah *in to in* atau *in to dsquare*, dimana pukulan yang dihasilkan akan membentuk sudut tertentu bergantung dari pukulan yang diberikan oleh pemain golf.

b. *Face Weighted Putter*

Merupakan jenis *putter* dimana letak pusat massanya terdapat pada bagian *face* (muka) dari *putter* tersebut. *Putter* dengan jenis ini cocok digunakan untuk para pemula karena arah pukulan yang dihasilkan dari *putter* jenis ini adalah *square to square*. Arah yang dihasilkan *square to square* akan membuat bola berputar lurus kedepan tanpa membentuk sudut.

### 2.1.2 Jenis *Putter* Menurut Bentuk Kepala (*Head*)

Menurut bentuk dari bagian kepala (*head*), *putter* dapat dibagi menjadi tiga yaitu:

a. *Blade Putter*

Berbentuk seperti bilah, *putter* jenis ini *shaft* atau porosnya terletak pada bagian tumit (*heel*) dari *putter*. Pada umumnya, *blade putter* merupakan jenis *toe weighted putter* namun dapat ditemui juga pada beberapa mereka seperti Nike Golf yang memproduksi *blade putter* dengan tipe *face weighted*.

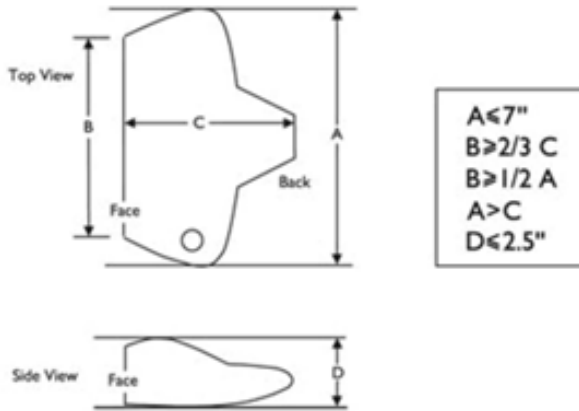
b. *Mallet Putter*

Bentuk dari kepala (*head*) *mallet putter* lebih besar apabila dibandingkan dengan *blade putter*. Pada umumnya, *mallet putter* merupakan jenis *face weighted putter* namun pada *mallet putter* tipe *face* atau *toe* akan bergantung pada peletakkan *shaft* atau poros dari *putter*.

c. *Futuristic Putter*

Bentuk dari *putter* jenis ini mengedepankan desain modern dan futuristik. Bentuk-bentuk yang unik hingga *custom* ini beberapa contohnya adalah *PING Scottsdale Pickemup*, *Scotty Cameron Futura*, dan *TaylorMade Rosa Spider*.

### 2.1.3 Desain *Putter*



Gambar 2. 3 Desain *Putter Head* Menurut Regulasi *Uniter States Golf Association (USGA)*.

Dengan adanya berbagai jenis *putter* yang beredar dipasaran tentunya tidak akan lepas dari hal mendesain. Menurut *United States Golf Association (USGA)* terdapat aturan-aturan dalam mendesain sebuah *putter head* seperti terilustrasikan pada gambar 2.3 yaitu:

- a. Jarak dari bagian ujung (*toe*) hingga tumit (*heel*) lebih besar dari jarak bagian muka hingga kebagian belakang. ( $A > C$ )
- b. Panjang dari bagian ujung (*toe*) hingga tumit (*heel*) lebih kecil sama dengan 7 in atau 177.8 mm. ( $A < 7 \text{ in}$ )
- c. Jarak dari bagian ujung (*toe*) hingga tumit (*heel*) dari *putter face* lebih besar sama dengan  $\frac{2}{3}$  jarak dari *putter face* hingga kebagian belakang. ( $B \geq \frac{2}{3} C$ )
- d. Jarak dari bagian tumit (*heel*) hingga bagian ujung (*toe*) dari *putter face* lebih besar sama dengan setengah dari jarak dari bagian ujung (*toe*) ke bagian tumit (*heel*). ( $B \geq \frac{1}{2} A$ )
- e. Tebal dari *putter head* lebih kecil sama dengan 2.5 in atau 63.5 mm. ( $D \leq 2.5 \text{ in}$ )



## 2.2 Baja Karbon (*Carbon Steel*) AISI 1045

*Carbon steel AISI 1045* merupakan *medium carbon steel* atau baja karbon sedang dimana kandungan karbonnya berkisar antara 0.25% - 0.55%. *Carbon steel AISI 1045* merupakan baja karbon murni yang memiliki kandungan *Mn* maksimal sebesar 1%. Baja ini memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih besar apabila dibandingkan dengan *low carbon steel*. Pada pengaplikasiannya baja ini dapat digunakan pada alat-alat yang membutuhkan kekuatan serta ketangguhan yang tinggi. Dalam kehidupan sehari-hari baja karbon ini dapat ditemui di poros, roda gigi, rantai dan lain-lain<sup>[9][10]</sup>. Nilai kekerasan serta beberapa sifat mekanik dari baja karbon AISI 1045 tertera pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Mechanical Properties of AISI 1045*. (sumber : [www.matweb.com](http://www.matweb.com))<sup>[12]</sup>

<i>Mechanical Properties</i>	<i>Metric</i>	<i>English</i>
<i>Hardness, Brinell</i>	167 - 229	167 - 229
<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	569 MPa	82500 psi
<i>Tensile Strength, Yield</i>	343 MPa	49800 psi
<i>Elongation at Break</i>	20%	20%
<i>Modulus of Elasticity</i>	205 GPa	29700 ksi
<i>Poissons Ratio</i>	0.29	0.29
<i>Machinability</i>	55%	55%
<i>Shear Modulus</i>	80 GPa	11600 ksi

## 2.3 Paduan Aluminium (*Aluminium Alloys*) 7075-T651

Aluminium AISI 7075-T651 merupakan *wrought alloy* aluminium seri 7xxx, dimana *zinc* adalah paduan utama dalam material. Paduan ini memiliki kekuatan yang dapat dibandingkan dengan baja serta ketahanan akan lelah (*fatigue strength*) yang

baik. Paduan ini memiliki tahanan terhadap korosi lebih rendah apabila dibandingkan dengan paduan aluminium yang lain. T6 dalam penamaan paduan berarti paduan telah mengalami *solution heat treatment* dan *artificial aging*. Sementara dua digit dibelakang T6, yaitu TX51 berarti paduan telah mengalami *stress relieved* dengan metode *stretching*. Dalam kehidupan sehari-hari material ini dapat ditemukan pada komponen-komponen pesawat terbang, roda gigi dan poros<sup>[20][21]</sup>. Nilai kekerasan serta beberapa sifat mekanik dari baja karbon AISI 1045 tertera pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 *Mechanical Properties of Aluminium AISI 7075-T651*.

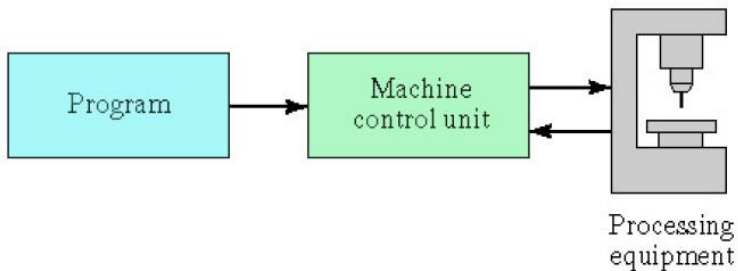
(sumber : [www.matweb.com](http://www.matweb.com))<sup>[20]</sup>

<b><i>Mechanical Properties</i></b>	<b><i>Metric</i></b>	<b><i>English</i></b>
<i>Hardness, Brinell</i>	150	150
<i>Hardness, Knoop</i>	191	191
<i>Hardness, Rockwell A</i>	53.5	53.5
<i>Hardness, Rockwell B</i>	87	87
<i>Hardness, Vickers</i>	175	175
<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	527 MPa (AA;Typical)	83000 psi (AA;Typical)
<i>Tensile Strength, Yield</i>	503 MPa (AA;Typical)	73000 psi (AA;Typical)
<i>Elongation at Break</i>	11%	11%
<i>Modulus of Elasticity</i>	71.7 GPa	10400 ksi
<i>Poissons Ratio</i>	0.33	0.33
<i>Fatigue Strength</i>	159 MPa	23000 psi
<i>Fracture Toughness</i>	17.6 MPa-m <sup>1/2</sup>	16 ksi- in <sup>1/2</sup>
<i>Shear Modulus</i>	26.9 GPa	3900 ksi
<i>Shear Strength</i>	331 MPa (AA;Typical)	48000 psi (AA;Typical)

## 2.4 CNC Machining

CNC machining atau *computer numerical control machining* merupakan mesin-mesin produksi (seperti mesin bubut, mesin

*milling*, mesin *press*, dll) dimana gerakan *machine tool* dari satu axis ke axis lain ter-program melalui komputer<sup>[13]</sup>. Program yang digunakan untuk mengontrol gerakan *machine tool* terdiri dari data-data alfanumerik yang merekam posisi serta bentuk dari benda kerja. Gambar 2.4 merupakan langkah-langkah melakukan pembentukan material dengan menggunakan *CNC machining*. Pertama dapat dilakukan pembuatan *program* dikomputer dari desain benda kerja yang dimiliki. Setelah *program* selesai dibuat, selanjutnya *program* akan disimpan di *machine control unit* dalam bentuk intruksi kepada *processing equipment* untuk bergerak membentuk benda kerja sesuai dengan desain yang ada<sup>[14]</sup>.



Gambar 2. 4 Skema Kerja CNC Machine

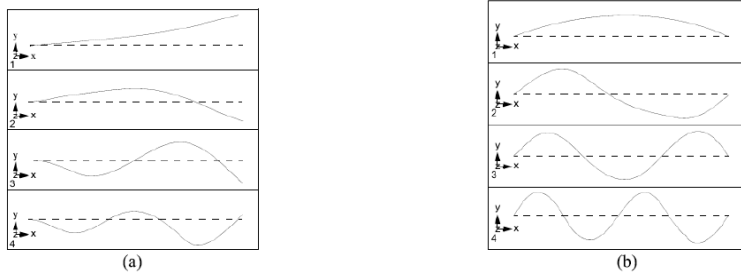
## 2.5 Frekuensi Natural

Frekuensi natural dari sebuah benda merupakan frekuensi dimana sebuah benda bergetar akibat adanya gangguan (*disturbance*). Frekuensi natural juga dapat dikatakan sebagai *characteristic frequency*, *fundamental frequency*, *resonance frequency* atau *normal frequency*<sup>[17]</sup>.

## 2.6 Modus Getar (*Mode Shape*)

Modus getar normal pada sebuah benda terjadi ketika benda mengalami perubahan bentuk atau terdeformasi pada frekuensi

natural tertentu. Selain itu modus getar normal juga dapat dikatakan sebagai modus getar (*mode shape*), *characteristic shape*, *eigenvector*, dan *fundamental shape*. Perbedaan modus getar yang ada pada suatu benda bergantung pada frekuensi natural yang ada pada tiap-tiap material atau benda<sup>[17]</sup>.



Gambar 2. 5 (a) Modus Getar Batang Kantilever Tanpa Penjepit. (b) Modus Getar Batang Kantilever Dijepit pada Kedua Ujungnya<sup>[18]</sup>.

Frekuensi natural dan modus getar (*mode shape*) merupakan fungsi dari sifat struktural (*structural properties*) dan kondisi batas (*boundary condition*). Pada gambar 2.5, ditunjukkan respon pada batang kantilever dengan frekuensi natural tertentu dan modus getar (*mode shape*) yang dihasilkan. Apabila sifat struktural berubah, frekuensi natural berubah, belum tentu modus getar (*mode shape*) akan ikut berubah. Salah satu contoh adalah apabila modulus elastisitas dari batang kantilever berubah, frekuensi natural berubah, modus getar (*mode shape*) dapat tidak berubah. Namun apabila kondisi batas berubah secara otomatis akan merubah frekuensi natural dan modus getar (*mode shape*). Sebagai contoh sebuah batang kantilever dijepit pada kedua ujungnya, frekuensi natural dan modus getar tentunya akan berbeda dengan ketika batang kantilever tidak dijepit.

Frekuensi natural dan modus getar (*mode shape*) dapat digunakan untuk mengetahui interaksi dari tiap-tiap komponen suatu benda akan gaya yang bekerja. Salah aplikasi dalam dunia nyata adalah pada kipas dari pendingin ruangan. Kipas dari pendingin ruangan pada gedung biasanya akan diletakkan di lantai atas gedung, penting untuk diketahui apakah frekuensi kerja dari

kipas mendekati salah satu frekuensi natural gedung. Karena apabila frekuensi kerja kipas mendekati salah satu frekuensi natural pada gedung dapat menyebabkan kerusakan struktural ataupun kegagalan fungsi<sup>[18]</sup>.

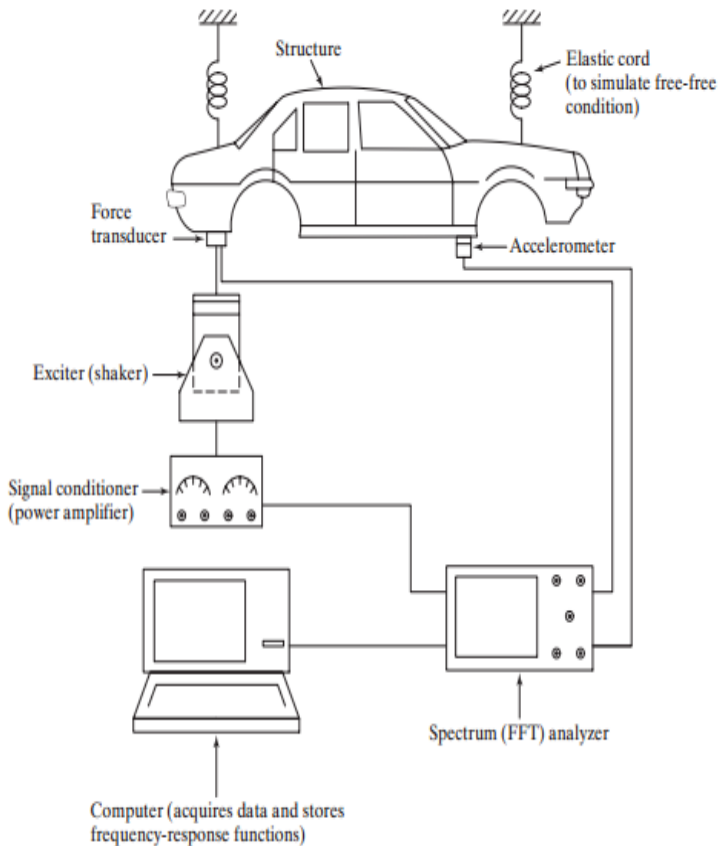
## 2.7 Analisis Modus Getar (Analisis Modal)

*Experimental modal analysis*, juga dikenal sebagai analisis modal atau tes modal, yang berhubungan dengan determinasi frekuensi natural, rasio redaman, dan *mode shape* atau modus getar. Dua hal yang mendasari metode ini adalah<sup>[15]</sup>:

1. Ketika sebuah struktur, mesin, atau sistem lainnya dieksitasi, responnya menampilkan puncak yang tajam saat beresonansi dan frekuensi gaya eksitasi bernilai sama dengan frekuensi natural sistem dan redaman tidak terlalu besar.
2. Sudut fase respon getaran pun berubah  $180^\circ$  ketika gaya eksitasi melewati frekuensi natural struktur atau mesin tersebut, dan sudut fase akan mendekati atau sama dengan  $90^\circ$  pada saat resonansi.

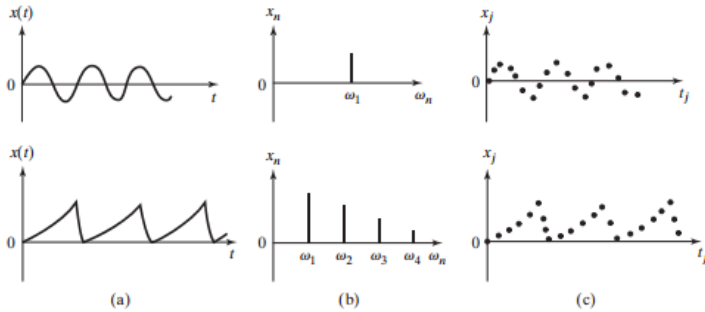
Dalam analisis modal secara eksperimen, diperlukan peralatan sebagai berikut<sup>[19]</sup>:

1. *Exciter* atau sumber getaran untuk memberikan gaya *input* yang terukur ke struktur atau mesin.
2. *Transducer* untuk mengkonversi respon getaran dari mesin atau struktur menjadi suatu sinyal listrik.
3. *Signal conditioning amplifier* untuk mengubah sinyal dari *transducer* sesuai dengan input sinyal ke komponen pengolah data atau sinyal.
4. *Analyzer* untuk menampilkan sinyal digital yang diolah ke *display* sesuai kebutuhan.



Gambar 2. 6 Experimental Modal Analysis<sup>[19]</sup>.

Dari pengukuran secara eksperimen yang ditunjukkan pada gambar 2.6, data diproses oleh *Analyzer* untuk mengubah data dari domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan pendekatan dengan bantuan deret Fourier. Dalam hal ini, data yang dihasilkan oleh *Analog-to-Digital converter* atau ADC merupakan data diskrit dalam fungsi waktu tertentu sesuai konfigurasi *Analyzer*. Bentuk data domain waktu dan domain frekuensi ditunjukkan gambar 2.7<sup>[19]</sup>.



Gambar 2. 7 Representasi Sinyal Getaran: (a) Domain Waktu, (b) Domain Frekuensi, (c) Domain Waktu dalam Bentuk Diskrit<sup>[19]</sup>.

Modus getar suatu struktur dapat dicari dengan cara mengukur getaran pada banyak titik pengukuran dan membandingkannya dengan hasil pengukuran getaran dari titik referensi yang dipilih. Matriks modus getar pada frekuensi natural ke  $m$  dan titik 1 sebagai referensi dapat ditulis :

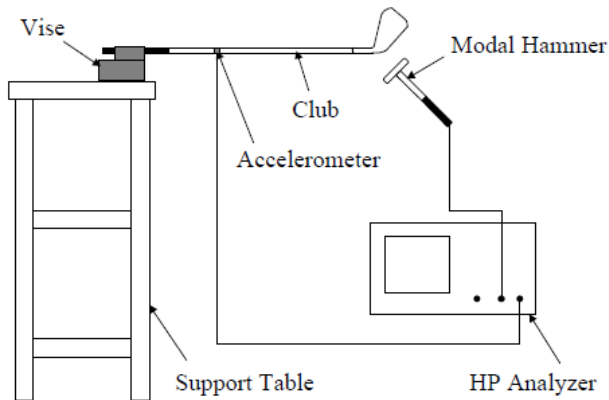
$$\Phi_m = \begin{pmatrix} 1 \\ Y_2(f_m)/Y_1(f_m) \\ Y_3(f_m)/Y_1(f_m) \\ \vdots \\ Y_n(f_m)/Y_1(f_m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{11}(f_m)/H_{11}(f_m) \\ H_{21}(f_m)/H_{11}(f_m) \\ H_{31}(f_m)/H_{11}(f_m) \\ \vdots \\ H_{n1}(f_m)/H_{11}(f_m) \end{pmatrix}. \quad (2.1)$$

sedangkan beda sudut fase untuk menentukan arah getaran masing-masing titik dihitung dari harga real dan imajiner

$$\varphi(f_m) = \arctan \frac{\text{Im}\{H_{kl}(if_m)\}}{\text{Re}\{H_{kl}(if_m)\}} \quad (2.2)$$

Beda sudut fasa sebesar  $0^\circ$  berarti getaran antara titik referensi dengan titik yang diukur sefasa atau arah getarannya sama, sedangkan beda fasa sebesar  $180^\circ$  menunjukkan arah getaran berlawanan arah<sup>[15]</sup>.

## 2.8 Clamped Free Boundary Condition



Gambar 2. 8 Instalasi *Clamped-Free Boundary Condition*.

*Clamped-Free Boundary Condition* merupakan kondisi batas yang paling sering digunakan dalam *finite element analysis* dan analisa-analisa lainnya. Dalam pengujian dengan kondisi batas *clamped-free boundary condition*, pegangan (*grip*) dari *putter golf* di jepit pada pegangan atau ragum yang terpasang pada meja kerja. Sehingga, pegangan (*grip*) menjadi *fixed* sementara poros (*shaft*) hingga *putter head* berada dalam keadaan *free boundary condition*.<sup>[11]</sup>

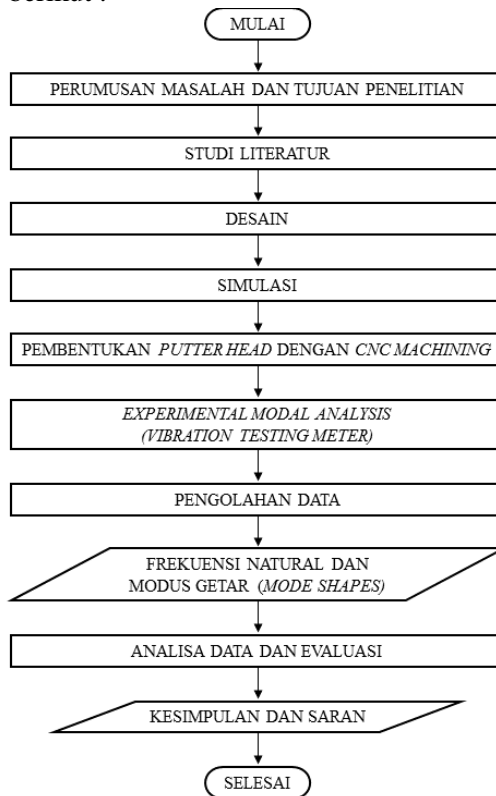


## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir

#### 3.1.1 Diagram Alir Penelitian

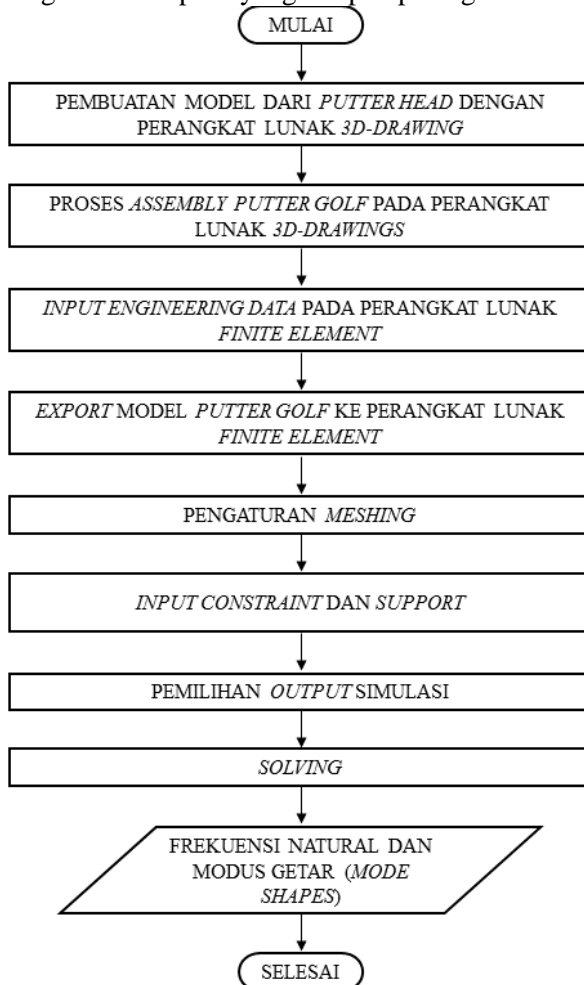
Tahapan penelitian dan penyusunan tugas akhir secara singkat digambarkan dengan menggunakan diagram alir pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.

### 3.1.2 Diagram Alir Simulasi

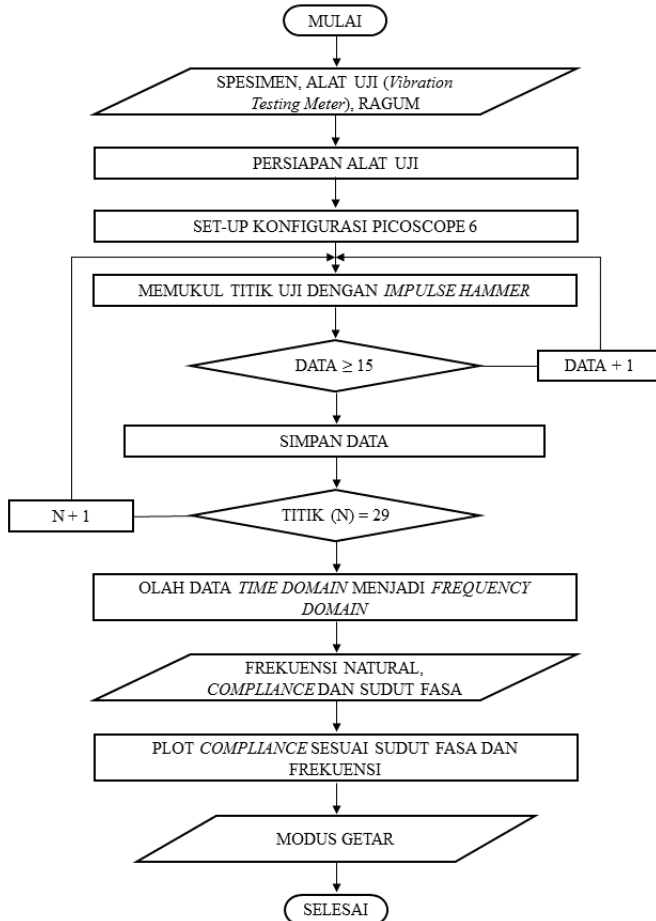
Tahapan dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* secara singkat dapat digambarkan dengan diagram alir seperti yang tampak pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Simulasi.

### 3.1.3 Diagram Alir *Experimental Modal Analysis*

Tahapan dari pengujian *odyssey white steel 1 putter*, *putter golf* dengan *putter head* bermaterial baja karbon AISI 1045 dan paduan aluminium 7075-T651 secara singkat dapat digambarkan dengan diagram alir seperti tampak pada gambar 3.3. Tahapan yang dilakukan pada tiap *putter golf* adalah sama.



Gambar 3. 3 Diagram Alir *Experimental Modal Analysis*.

### 3.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini, antara lain :

1. *CNC Machine*
2. Alat uji eksitasi (*Vibration Testing Meter*)
3. Laptop
4. Ragum
5. Meja
6. Alat ukur : penggaris dan jangka sorong
7. Spidol

Adapun *putter golf* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Odyssey White Steel 1 Putter*.
2. *Putter Golf* dengan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045.
3. *Putter Golf* dengan *Putter Head* Paduan Aluminium 7075.

### 3.3 Langkah – langkah Penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 3.3.1 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Perumusan masalah dan batasan masalah ditetapkan untuk memperjelas lingkup penelitian. Setelah itu, ditetapkan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian yang dilakukan.

#### 3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses ulasan terhadap media-media yang digunakan sebagai referensi. Dalam penelitian ini digunakan buku serta materi kuliah terkait dan media *online* (*online journal*) yang selanjutnya digunakan sebagai referensi atau pustaka.

### 3.3.3 Desain

Pada penelitian ini *putter head* di buat dengan memperhatikan parameter dari *United States Golf Association (USGA)* dan desain *PING Anser Karsten TR* yang di modifikasi. Modifikasi dilakukan dengan menambah panjang dari bagian muka (*face*) dari *putter head* agar dihasilkan *sweet spot* yang lebih besar. Desain dilakukan dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 2017*. Gambar 3.4 merupakan desain *putter head custom* tampak depan sementara gambar 3.5 merupakan desain *putter head custom* tampak belakang. Gambar 3.6 merupakan desain dari *putter head custom* apabila dilihat dari sisi kanan sementara gambar 3.7 merupakan desain dari *putter head custom* dilihat dari sisi kiri. Tampak atas serta tampak bawah dari desain *putter head custom* yang akan dibuat dengan menggunakan baja karbon AISI 1045 dan paduan aluminium 7075-T651 tertera pada gambar 3.8 dan 3.9.



Gambar 3. 4 Desain Putter Head Tampak Depan.



Gambar 3. 5 Desain Putter Head Tampak Belakang.



Gambar 3. 6 Desain Putter Head Tampak Kanan.



Gambar 3. 7 Desain Putter Head Tampak Kiri.



Gambar 3. 8 Desain Putter Head Tampak Atas.



Gambar 3. 9 Desain Putter Head Tampak Bawah.

### 3.3.4 Simulasi

Sebagai data awal, digunakan perangkat lunak *finite element* untuk melakukan simulasi modal terhadap *putter golf* dengan variasi material pada *putter head*. Dari simulasi yang dilakukan akan didapatkan nilai frekuensi natural serta besarnya nilai *displacement*. Simulasi dilakukan dengan asumsi material pada

pegangan (*grip*) adalah *rubber silicone*, poros (*shaft*) adalah baja anti karat SS 304, dan material pada *putter head* menggunakan baja karbon AISI 1045 dan paduan aluminium 7075 T-651 serta baja anti karat SS 303 untuk *odyssey white steel 1 putter*. Langkah-langkah dari simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

### **1. Input Data Material**

*Properties* dari material yang digunakan dimasukkan ke dalam sub-menu *engineering data* pada perangkat lunak *finite element*. *Properties* material didapatkan dari katalog. Setelah *engineering data* di input, dilakukan input *geometry* dengan memasukkan desain *putter head* yang sebelumnya telah dilakukan proses *assembly* dengan poros (*shaft*) dan pegangan (*grip*) ke dalam perangkat lunak *finite element*.

### **2. Pengaturan Meshing**

*Meshing* digunakan untuk mengatur tingkat ketelitian dari hasil simulasi. *Meshing* dilakukan untuk membagi suatu komponen menjadi *node* yang terhubung satu sama lain. *Meshing* pada bagian kepala (*head*) diatur dengan ketelitian yang berbeda yaitu sebesar 0.002 m (2 mm) agar didapatkan ketelitian yang lebih baik pada bagian kepala (*head*) sebagai fokus pada penelitian.

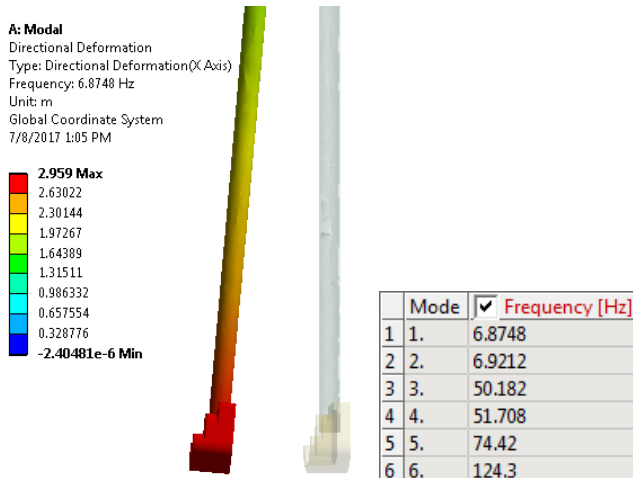
### **3. Input Constraint dan Support**

Pada bagian pegangan (*grip*) diberikan *constraint* dan *support fixed* sesuai dengan *boundary condition* pada saat dilakukan *experimental modal analysis* yaitu *clamped-free*.

### **4. Simulasi**

Setelah semua kondisi eksperimen diinput, simulasi dijalankan dengan memilih inspeksi deformasi ke arah sumbu-x (*X deformation*). Sebelum simulasi dijalankan, pastikan seluruh bagian dari *putter golf* yang disimulasikan sudah memiliki material yang sesuai dengan kondisi eksperimen. Setelah simulasi dijalankan, hasil akan didapatkan berupa nilai kearah sumbu-x dari *putter golf* terhadap frekuensi natural seperti yang tampak pada gambar 3.10. Dari hasil simulasi yang didapatkan juga dapat diketahui dimana letak deformasi terbesar serta tekecil terjadi

dengan menggunakan menu opsional *probe* untuk mendeteksi lokasi dari titik-titik yang diinginkan.



Gambar 3. 10 Hasil Simulasi Modal.

### 3.3.5 Proses Pembuatan *Putter Head* dengan *CNC Machining*

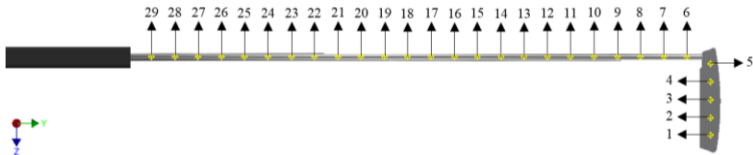
Material baja karbon AISI 1045 dan paduan aluminium 7075-T651 yang berbentuk balok berukuran 20 cm x 4 cm x 3 cm dibentuk dengan *CNC Machine* menggunakan file yang telah dibuat dengan *Autodesk Inventor 2018 Student Version* dan di konversikan ke dalam data berbentuk .stp.

### 3.3.6 Proses Persiapan

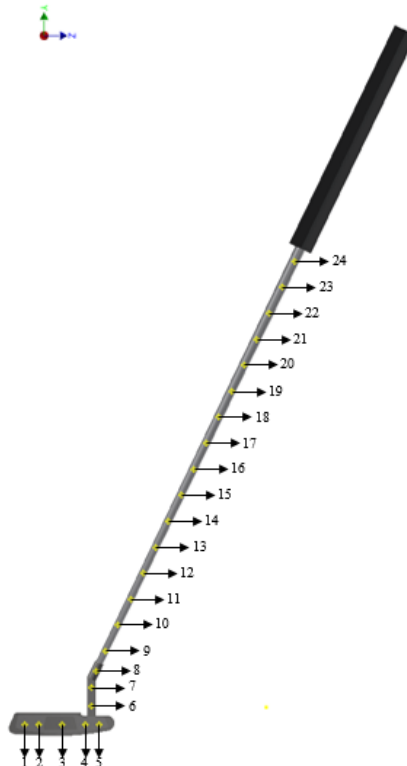
Usai dibentuk dengan *cnc machining*, dilakukan pemasangan poros (*shaft*) serta pegangan (*grip*) yang sudah ada pada *putter head*. Dikarenakan pada pengujian ini poros (*shaft*) dan pegangan (*grip*) yang digunakan untuk kedua *putter head* adalah sama, maka pengujian dilakukan bergantian. Pertama dilakukan pengujian pada *putter head* dengan material baja karbon AISI 1045 lalu



setelahnya diuji *putter head* dengan material paduan aluminium 7075-T651. Selain dipasangkakan pada poros (*shaft*) dan pegangan (*grip*) sebelum pengujian, dilakukan pemberian tanda titik uji pada *putter golf*.



Gambar 3. 11 Plot Titik Uji *Putter Golf* dengan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045 dan Paduan Aluminium 7075-T651.



Gambar 3. 12 Plot Titik Uji Odyssey White Steel 1 Putter.

Banyaknya titik uji baik pada *putter golf* dengan *putter head* bermaterial paduan aluminium 7075-T651 maupun pada *putter golf* dengan *putter head* bermaerial baja karbon AISI 1045 adalah sama yaitu sebanyak 29 titik dengan jarak antar titik adalah sebesar 2.5 cm seperti tampak pada gambar 3.11. Sementara, pada *odyssey white steel 1 putter* digunakan 24 titik uji dengan jarak antar titik adalah sebesar 2.5 cm seperti tampak pada gambar 3.12. Selain itu, dipersiapkan juga alat pendukung pengujian berupa meja dengan ragam untuk memberikan kondisi batas (*boundary condition*) *clamped free* atau *fixed* pada pegangan (*grip*).

### 3.3.7 Pengujian Putter Golf

Dilakukan *experimental modal analysis* (tes modal) untuk mengetahui modus getar akibat frekuensi natural dari tiap *putter golf* dengan variasi material pada *putter head*. *Experimental modal analysis* (tes modal) dilakukan dengan menggunakan alat uji *vibration testing meter*. Alat uji yang digunakan berupa *impulse hammer*, *accelerometer*, *power supply*, ADC (*Picoscope*), *software Picoscope6* dan *personal computer* atau laptop. Alat uji berupa *impulse hammer* dan *accelerometer* dikoneksikan ke *power supply* untuk menguatkan sinyal sebelum dimasukkan ke ADC (*Picoscope*), dari ADC kemudian dikoneksikan ke *personal computer* atau laptop yang terfasilitasi dengan *software Picoscope6*.

### 3.3.8 Pengolahan Data Eksperimen

Data yang didapat dari *experimental modal analysis* diubah kedalam bentuk *frequency domain* dengan bantuan *software Mathcad* untuk mempermudah proses pengolahan data. Dari pengolahan data akan didapat fungsi transfer (*compliance*), sudut fasa yang kemudian dipilah berdasarkan frekuensi natural yang terlihat. Hasil pemilahan data di plot ke dalam grafik, sehingga didapatkan hasil berupa *mode shape* untuk frekuensi natural yang diinginkan.

### 3.3.9 Analisa Hasil Eksperimen

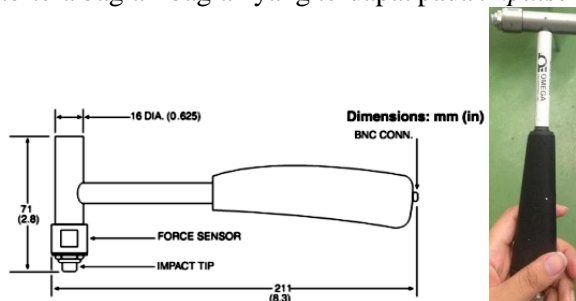
Data-data yang diperoleh dari proses pengolahan data kemudian dianalisa berdasarkan teori pada sub-bab tinjauan pustaka yang didapat dari studi literatur yang telah dilakukan. Hasil analisa yang telah dilakukan kemudian disusun kedalam tulisan untuk memperoleh kesimpulan dari penelitian ini.

## 3.4 Alat Bantu Penelitian

Alat bantu uji coba pada penelitian ini adalah alat *vibration testing meter* untuk mendapatkan modus getar (*mode shape*) terhadap frekuensi natural yang ada pada *putter golf*. Alat-alat yang digunakan pada pengujian eksitasi adalah *impulse hammer*, *power supply*, *analog to digital converter (ADC)*, dan *accelerometer* <sup>[15]</sup>.

### 3.4.1 Impulse Hammer Tipe IH 101-1K Omega

Fungsi dari alat ini adalah sebagai pemberi gaya eksitasi yang secara langsung akan diukur oleh suatu transduser yang merupakan bagian dari *impulse hammer*. Pada uji coba ini, energi eksitasi diubah ke dalam bentuk energi (*signal*) listrik yang masih bersifat analog <sup>[15]</sup>. Gambar 3.13 merupakan salah satu *impulse hammer* tipe omega yang digunakan dalam penelitian ini, selain itu juga tertera bagian-bagian yang terdapat pada *impulse hammer*.



Gambar 3. 13 *Impulse Hammer* Tipe IH 101-1K Omega <sup>[15]</sup>.

### 3.4.2 Power Supply ACC-PS1 Omega

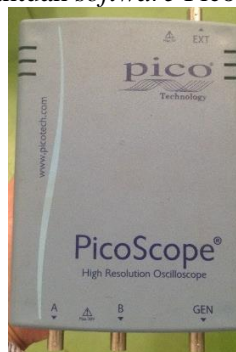
*Power supply* seperti yang tertera pada gambar 3.14 berfungsi sebagai sumber arus sensor dinamik bagi transduser pada *impulse hammer*. Arus yang diberikan oleh *power supply* ini sebesar 2mA dengan tegangan sebesar +18VDC. Arus dan tegangan pada *power supply* ini tidak dapat diatur atau bersifat konstan<sup>[15]</sup>.



Gambar 3. 14 Power Supply ACC-PS1 Omega.

### 3.4.3 Analog to Digital Converter Tipe ADC-214 Pico Technology

Gambar 3.15 merupakan *ADC converter* yang digunakan pada penelitian ini. *Output* yang didapatkan dari alat ini merupakan *digital signal* yang kemudian diolah dikomputer dengan menggunakan bantuan *software* Pico-Scope<sup>[15]</sup>.



Gambar 3. 15 Analog to Digital Converter Tipe ADC-214 Pico-Technology.

### 3.4.4 General Purpose Accelerometer Tipe Omega

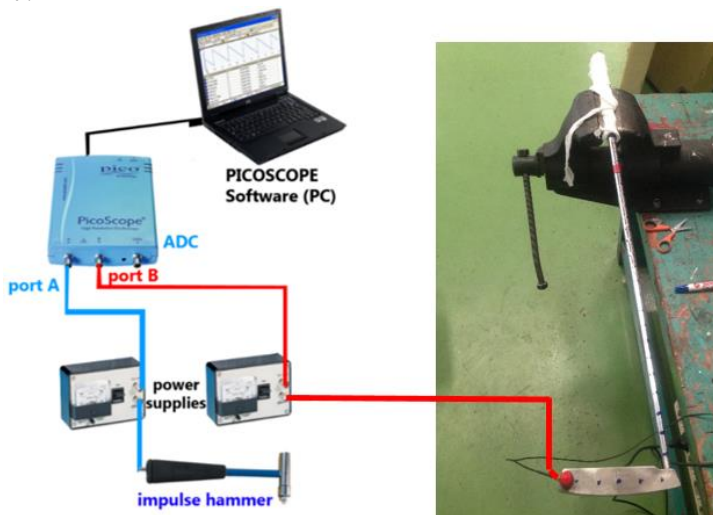
*Accelerometer* seperti tampak pada gambar 3.16 digunakan sebagai alat untuk mengukur respon getaran dalam bentuk akselerasi yang terjadi pada arah dan satu tempat yang tetap. Sensitivitas dari *Accelerometer* ini adalah  $100 \text{ mV/g}^{[15]}$ .



Gambar 3. 16 General Purpose Accelerometer Tipe Omega.

### 3.4.5 Instalasi Alat Uji Eksitasi (*Vibration Testing Meter*)

Skema dari instalasi alat uji eksitasi dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Instalasi Alat Uji Eksitasi<sup>[15]</sup> (*Vibration Testing Meter*).

### 3.5 Langkah Kerja *Experimental Modal Analysis*

Adapun langkah kerja dari *experimental modal analysis* (tes modal) adalah sebagai berikut :

#### 1. Persiapan Spesimen dan Peralatan Uji

Sebelum pelaksanaan *experimental modal analysis*, spesimen yaitu *putter golf* serta alat uji dipersiapkan seperti yang telah di bahas pada sub-bab alat bantu eksperimen dan proses persiapan. Setelah spesimen dan peralatan uji siap, perangkat lunak *Picoscope6* diatur seperti pada gambar 3.18. Pengaturan yang diberikan sama pada tiap pengujian untuk menghindari kesalahan analisa.



Gambar 3. 18 Set-up Perangkat Lunak Picoscope6.

#### 2. Pemberian Gaya Eksitasi

Gambar 3.19 merupakan pemberian gaya eksitasi dengan memukul titik uji yang telah dibuat pada *putter golf*. Untuk setiap titik uji akan diberi pukulan sebanyak 15 kali untuk mendapatkan 15 data pada tiap titiknya, hal ini dilakukan untuk mencegah kurangnya data dikarenakan *human error*. Pengambilan data sebanyak 15 kali juga dilakukan agar mudah untuk melakukan pemilihan data agar hasil yang didapatkan lebih koheren.



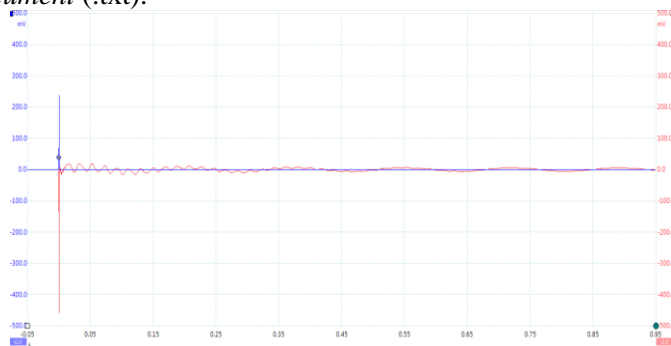
Gambar 3. 19 Pemberian Gaya Eksitasi pada *Putter Golf*.

### 3. Penyimpanan Data

Time (ms)	Channel (mV)	A (mV)	channel B
-50.08436367		0.04577776	-0.10681480
-49.58436370		0.01525925	-0.03051851
-49.08436374		0.07629627	-0.06103702
-48.58436377		-0.04577776	-0.07629627
-48.08436381		0.00000000	-0.09155552
-47.58436384		0.09155552	0.03051851
-47.08436388		0.09155552	0.01525925
-46.58436391		0.12207400	-0.04577776
-46.08436394		0.06103702	0.01525925
-45.58436398		0.04577776	-0.09155552
-45.08436401		0.12207400	0.04577776
-44.58436405		0.12207400	0.01525925
-44.08436408		0.18311100	0.22888880
-43.58436412		0.27466660	0.42725910
-43.08436415		-0.38148130	-0.50355540
-42.58436419		0.01525925	0.01525925
-42.08436422		0.09155552	0.09155552
-41.58436425		-0.03051851	-0.10681480
-41.08436429		0.01525925	-0.06103702
-40.58436432		0.01525925	0.01525925
-40.08436436		0.03051851	-0.09155552
-39.58436439		0.06103702	-0.09155552
-39.08436443		0.03051851	-0.07629627
-38.58436446		0.03051851	0.07629627
-38.08436450		0.00000000	-0.13733330
-37.58436453		0.07629627	0.00000000
-37.08436457		0.07629627	0.01525925

Gambar 3. 20 Contoh Data dalam Format *Text Document* (.txt).

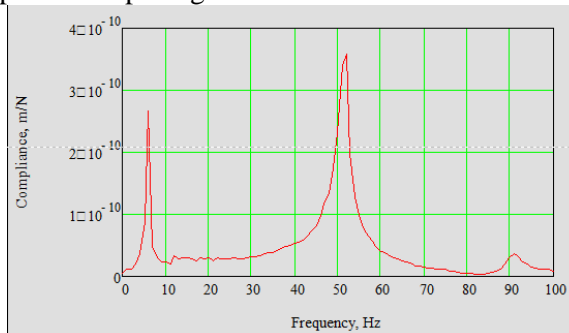
Data yang telah diperoleh dari perangkat lunak *Picoscope* disimpan dalam dua bentuk format yaitu *Picoscope Data File* dan *Text Document* (.txt). Penyimpanan dalam bentuk (.txt) format adalah sebagai data yang nantinya akan digunakan untuk memproses data lebih lanjut dengan menggunakan perangkat lunak *Mathcad*. Untuk memudahkan proses analisa data, data dari tiap titik uji dipisah dalam folder yang berbeda. Gambar 3.21 merupakan contoh data dalam format *Picoscope Data File* sementara gambar 3.20 merupakan contoh data dalam format *Text Document* (.txt).



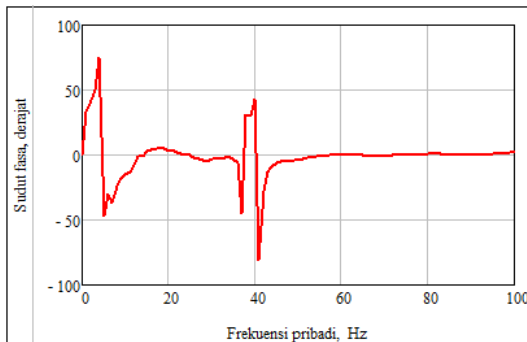
Gambar 3. 21 Contoh Data dalam Format *Picoscope Data File*.

#### 4. Pengolahan Data

Setelah semua data disimpan, data diolah dengan menggunakan perangkat lunak *Mathcad*. Data yang diolah merupakan percepatan dan gaya ekstasi dalam domain waktu yang didapatkan dari perangkat lunak *Picoscope6*. Data tersebut diolah kedalam domain frekuensi untuk mendapatkan frekuensi natural, *compliance* dan sudut fasa. Gambar 3.22 dan 3.23 merupakan hasil yang didapatkan dari perangkat lunak *Mathcad*.



Gambar 3. 22 Hasil Pengolahan Data dengan Perangkat Lunak *Mathcad* Berupa *Compliance* terhadap Frekuensi Natural.



Gambar 3. 23 Hasil Pengolahan Data dengan Perangkat Lunak *Mathcad* Berupa Sudut Fasa terhadap Frekuensi Natural.

#### 5. Plot Data

Setelah setiap nilai *compliance* serta sudut fasa pada tiap titik uji dari frekuensi natural yang ada didapatkan, data dimasukkan



kedalam tabel untuk memudahkan analisa. Setelah tabel terbuat, *compliance* serta sudut fasa di plot pada grafik untuk mendapatkan modus getar dari tiap-tiap frekuensi natural yang ada.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil dari simulasi maupun eksperimen yang telah dilakukan untuk mengetahui modus getar (*mode shapes*) terhadap frekuensi natural yang dihasilkan oleh *odyssey white steel 1 putter*, *golf putter* dengan *head* bermaterial baja karbon AISI 1045 dan *golf putter* dengan *head* bermaterial paduan aluminium AISI 7075. Dari simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* akan didapatkan frekuensi natural, modus getar (*mode shapes*) serta letak deformasi atau *displacement* maksimal serta minimal dari *putter golf*. Sementara dari eksperimen yang telah dilakukan dengan menggunakan *vibration testing meter*, akan didapatkan nilai frekuensi natural serta nilai *displacement* atau amplitudo tiap Newton gaya yang dieksitasikan pada *putter golf*.

#### 4.1 Analisa Data Awal

Analisa data awal digunakan sebagai dasar input *properties* material pada proses simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element*. Adapaun analisa data awal pada *putter head* adalah sebagai berikut :

- *Odyssey White Steel 1 Putter*

Asumsi material yang digunakan dalam proses simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* pada *odyssey white steel 1 putter* adalah baja tahan karat SS 303 pada bagian kepala atau *putter head*, baja tahan karat SS 304 pada bagian poros (*shaft*) dan *silicone rubber* pada bagian pegangan (*grip*). Tertera pada gambar 4.1, 4.2 dan 4.3 merupakan bagian bagan dari *odyssey white steel 1 putter*. Adapun data awal yang dibutuhkan pada saat proses simulasi dilakukan yaitu :

Berat Total	: 265 gram
Massa Jenis <i>Head</i>	: $8 \text{ g/cm}^3$
Massa Jenis <i>Shaft</i>	: $2.77 \text{ g/cm}^3$
Massa Jenis <i>Grip</i>	: $2.33 \text{ g/cm}^3$

<i>Young Modulus Head</i>	: $1.93 \times 10^{11}$ Pa
<i>Young Modulus Shaft</i>	: $1.93 \times 10^{11}$ Pa
<i>Young Modulus Grip</i>	: $50 \times 10^6$ Pa
<i>Poisson Ratio Head</i>	: 0.25
<i>Poisson Ratio Shaft</i>	: 0.29
<i>Poisson Ratio Grip</i>	: 0.49



Gambar 4. 1 *Putter Head* dari *Odyssey White Steel 1 Putter*.



Gambar 4. 2 Poros (*Shaft*) dari *Odyssey White Steel 1 Putter*.



Gambar 4. 3 *Pegangan (Grip)* dari *Odyssey White Steel 1 Putter*.

- *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045

*Putter head custom* dengan material baja karbon AISI 1045 yang dibuat dengan proses *CNC Machining* tertera pada gambar 4.4 dan 4.5. Adapun data awal dari karakteristik material yang digunakan dalam proses simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* adalah sebagai berikut :

Berat	: 265 gram
Massa Jenis	: $7.85 \text{ g/cm}^3$
<i>Young Modulus</i>	: $2.05 \times 10^{11} \text{ Pa}$
<i>Poisson Ratio</i>	: 0.29



Gambar 4. 4 *Putter Head* Baja Karbon Tampak Depan.



Gambar 4. 5 *Putter Head* Baja Karbon Tampak Belakang.

- *Putter Head* Paduan Aluminium 7075-T651

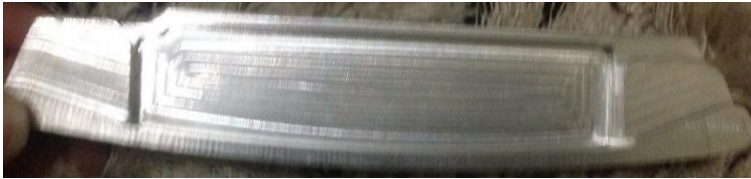
*Putter head custom* dengan material paduan aluminium 7075-T651 yang dibuat melalui proses *CNC Machining* tertera pada gambar 4.6 dan 4.7. Adapun data awal yang digunakan dalam proses simulasi dengan perangkat lunak *finite element* adalah sebagai berikut :

Berat	: 101 gram
Massa Jenis	: $2.81 \text{ g/cm}^3$
<i>Young Modulus</i>	: $7.17 \times 10^{10} \text{ Pa}$

*Poisson Ratio* : 0.33



Gambar 4. 6 *Putter Head* Paduan Aluminium Tampak Depan.



Gambar 4. 7 *Putter Head* Paduan Aluminium Tampak Belakang.

- Pegangan (*Grip*) dan Poros (*Shaft*)

Pegangan atau *grip* serta poros atau *shaft* yang digunakan pada *putter head custom* adalah sama seperti tertera pada gambar 4.8 dan 4.9. Material yang digunakan sebagai data awal dalam melakukan simulasi dengan perangkat lunak *finite element* adalah *silicone rubber* untuk *grip* dan baja tahan karat SS 304 untuk *shaft*. Adapun karakteristik material yang digunakan pada simulasi adalah sebagai berikut :

Berat Total	: 94 gram
Massa Jenis <i>Shaft</i>	: $2.77 \text{ g/cm}^3$
Massa Jenis <i>Grip</i>	: $2.33 \text{ g/cm}^3$
<i>Young Modulus Shaft</i>	: $1.93 \times 10^{11} \text{ Pa}$



Gambar 4. 8 Pegangan (*Grip*).



Gambar 4. 9 Poros (*Shaft*).

*Young Modulus Grip* :  $50 \times 10^6$  Pa

*Poisson Ratio Shaft* : 0.29

*Poisson Ratio Grip* : 0.49

## 4.2 Simulasi Modal pada *Putter Golf* terhadap Variasi Material pada *Putter Head*

Setelah proses desain dari *putter head* selesai, perakitan *putter golf* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor 2018 Student Version*, perakitan dilakukan terhadap desain *putter head* dengan poros (*shaft*) dan pegangan (*grip*) yang sudah ada. Setelah *putter golf* selesai dirakit, dokumen disimpan dalam format .stp agar dapat digunakan untuk proses simulasi *modal analysis* dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *finite element*. Luaran dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* adalah frekuensi natural, modus getar, serta letak deformasi maksimal ke arah sumbu x.

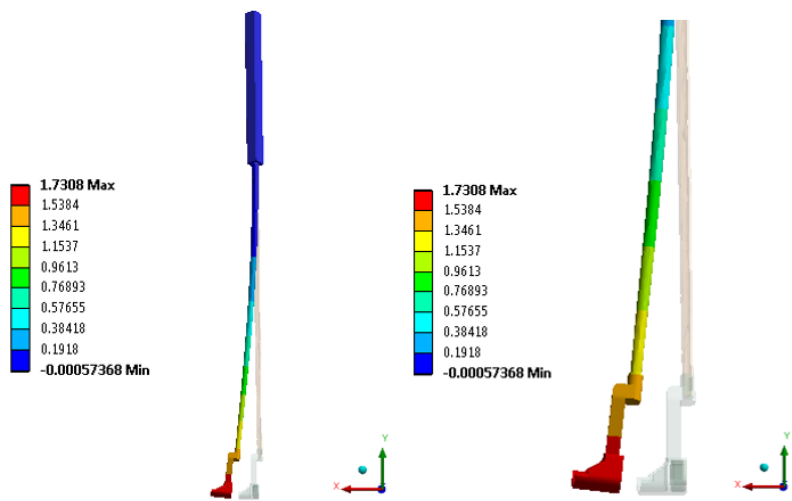
### 4.2.1 *Odyssey White Steel 1 Putter*

Simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* dilakukan untuk mengetahui frekuensi natural serta modus getar dari *odyssey white steel 1 putter* yang digunakan sebagai patokan respon getar pada *putter golf*. Simulasi *modal analysis* pada *odyssey white steel 1 putter* dilakukan dengan input modal maksimal sebanyak enam dalam rentang frekuensi  $0 \text{ Hz} - 300 \text{ Hz}$ . Simulasi *modal analysis* yang dilakukan menghasilkan enam buah frekuensi natural dan enam buah modus getar (*mode shape*) seperti terdapat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Frekuensi Natural pada *Odyssey White Steel 1 Putter*.

Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> )	Frekuensi Natural (Hz)
1	6.56
2	7.64
3	69.30
4	83.46
5	97.45
6	217.71

Frekuensi natural pertama yang didapat dari hasil simulasi *odyssey white steel 1 putter* adalah 6.56 Hz. Modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural pertama memiliki arah deformasi ke sumbu-x seperti tampak pada gambar 4.10.

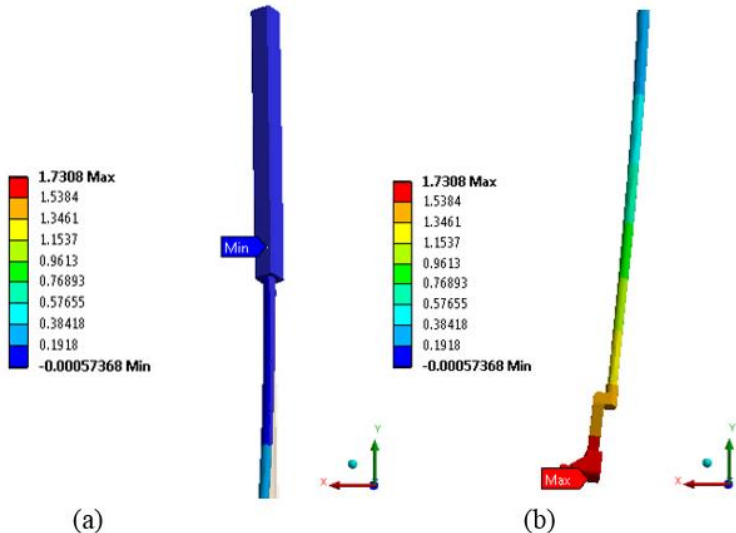


Gambar 4. 10 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf *Odyssey White Steel 1* pada frekuensi 6.56 Hz.

Bentuk modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural pertama adalah *bending mode shape*. Deformasi maksimal ke arah sumbu-x pada frekuensi natural pertama terjadi pada bagian *putter head*.

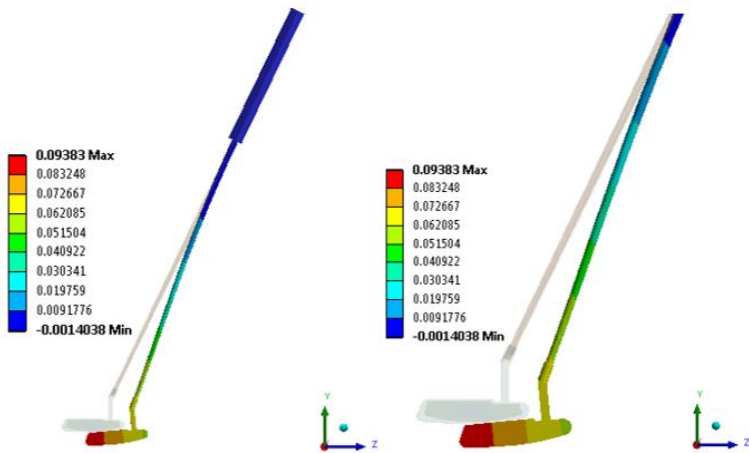


Adapun deformasi minimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*). Hal tersebut terjadi tidak lepas dari adanya kondisi batas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *clamped-free*.

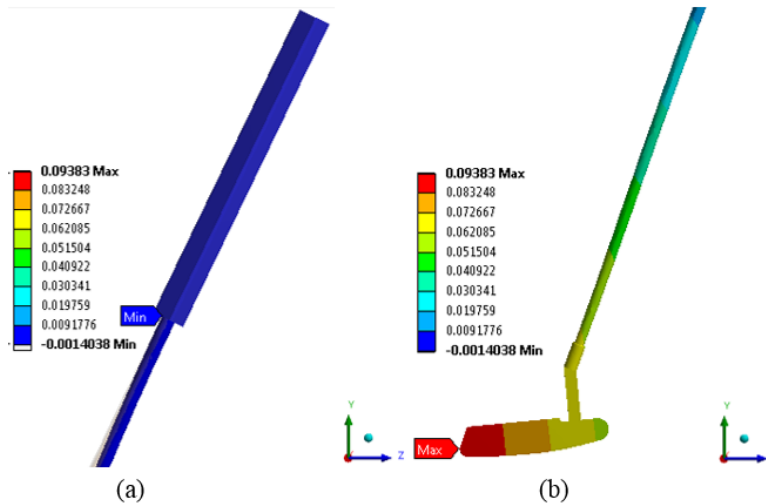


Gambar 4. 11 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 6.56 Hz.

Nilai frekuensi natural kedua yang didapatkan dari simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* adalah sebesar 7.64 Hz. Modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural kedua memiliki arah deformasi terbesar ke arah sumbu-z dengan bentuk *bending mode shape*. Deformasi maksimal ke arah sumbu-x pada frekuensi natural kedua terjadi pada bagian *putter head* seperti tampak pada gambar 4.13(b). Adapun deformasi minimal ke arah sumbu-x pada frekuensi natural kedua akan terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dari *putter golf*.

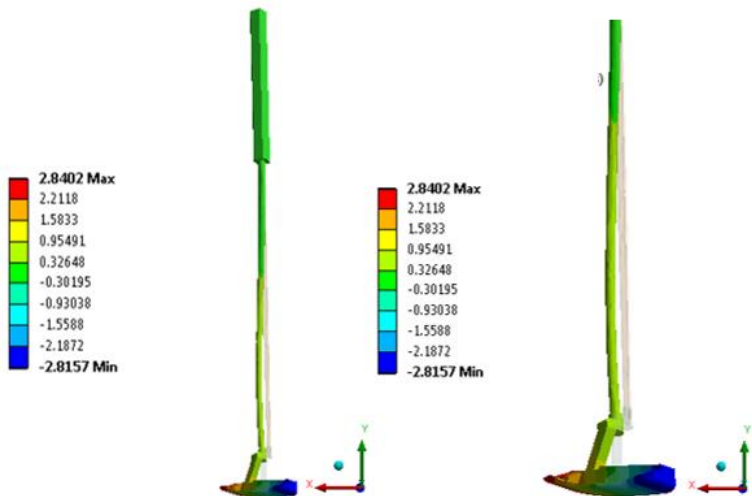


Gambar 4. 12 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 7.64 Hz.



Gambar 4. 13 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 7.64 Hz.

Frekuensi natural ketiga dari *odyssey white steel 1* dari simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* adalah 69.30 Hz. Arah deformasi dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural ketiga adalah kearah sumbu-x dan sumbu-z seperti tampak pada gambar 4.14.

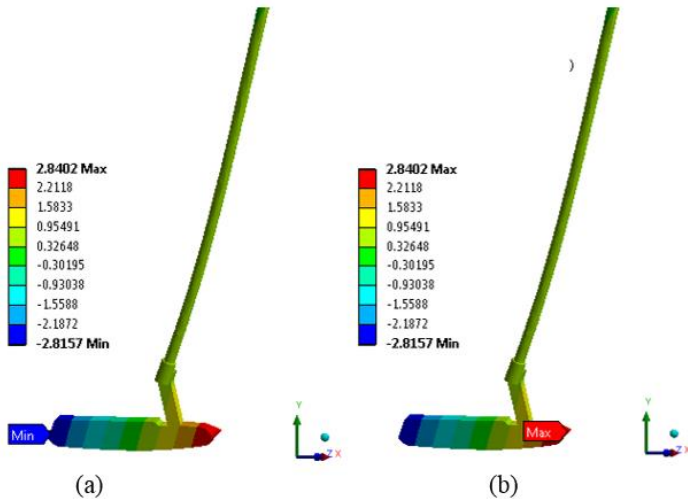


Gambar 4. 14 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 69.30 Hz.

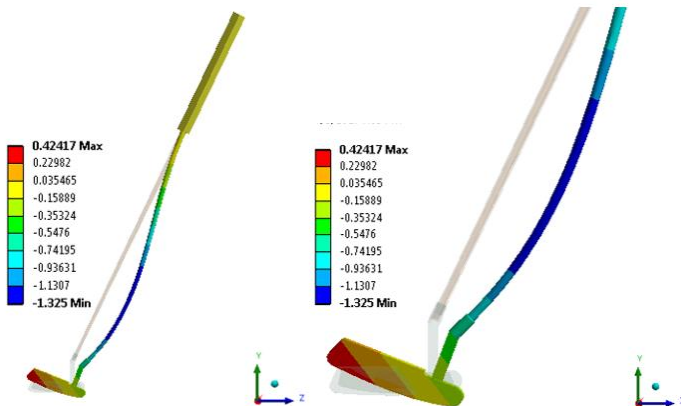
Bentuk dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural ketiga adalah *torsional mode shape*. Deformasi maksimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian *putter head*. Adapun nilai deformasi minimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dimana nilai deformasi yang terjadi adalah nol. Gambar 4.15 menunjukkan bahwa nilai deformasi minimal akan terjadi pada bagian *putter head* dengan nilai deformasi negatif. Nilai negatif pada simulasi menunjukkan arah deformasi ke arah sumbu negatif.

Frekuensi natural keempat dari *odyssey white steel 1 putter* adalah sebesar 83.46 Hz. Modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural keempat memiliki arah deformasi terbesar ke sumbu-y dan sumbu-z. Deformasi maksimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian *putter head*. Adapun deformasi minimal ke arah sumbu-x

terjadi pada bagian pegangan (*grip*). Deformasi minimal yang ditunjukkan pada gambar 4.17 akan terjadi pada bagian poros (*shaft*) dari *putter golf*. Hal tersebut terdeteksi dikarenakan deformasi pada titik tersebut bernilai negatif. Sama halnya pada

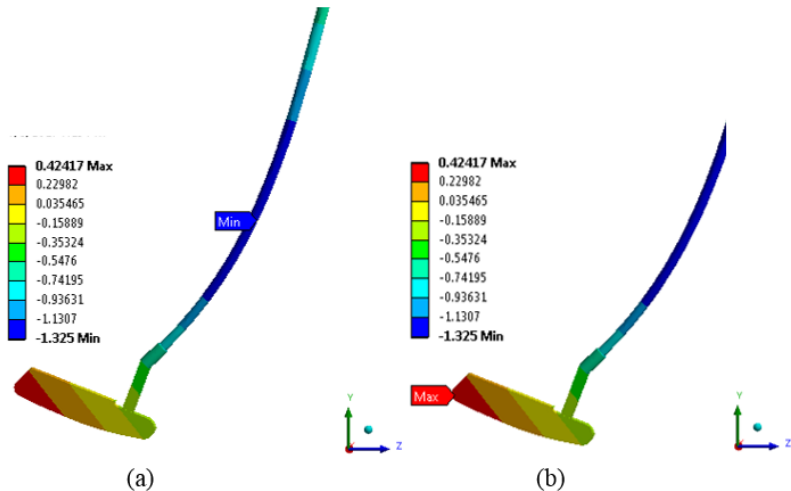


Gambar 4. 15(a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 69.30 Hz.



Gambar 4. 16 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 83.46 Hz.

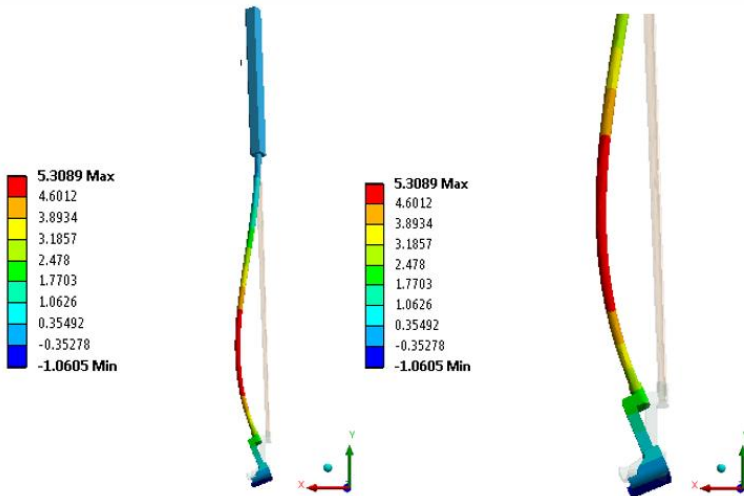
frekuensi natural ketiga, pada simulasi nilai deformasi yang bernilai negatif merupakan tanda arah deformasi terjadi. Sehingga nilai deformasi minimal tetap terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dimana nilai deformasi sama dengan nol.



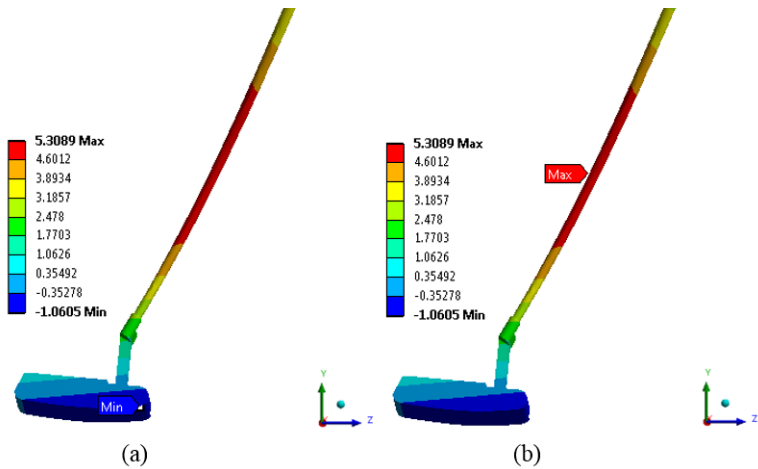
Gambar 4. 17(a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 83.46 Hz.

Nilai frekuensi natural kelima yang didapat dari simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* adalah sebesar 97.45 Hz. Frekuensi natural kelima memiliki arah deformasi pada modulus getarnya (*mode shape*) ke arah sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z. Bentuk dari modulus getar pada frekuensi kelima adalah *torsional mode shape*. Deformasi maksimal ke arah sumbu-x pada frekuensi natural kelima terjadi pada bagian poros (*shaft*) dari *putter golf*. Sama seperti pada frekuensi natural ketiga dan keempat, pada simulasi yang dilakukan didapatkan nilai deformasi dengan tanda negatif sehingga pada gambar 4.19 terdapat deformasi minimal terjadi pada bagian *putter head*. Namun, dengan adanya kondisi batas yang digunakan yaitu *clamped-free* maka nilai deformasi minimal yaitu nol terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dari *putter golf*.

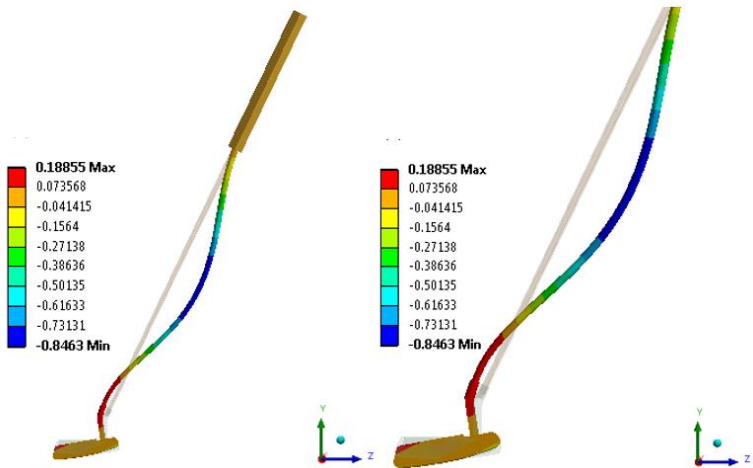
Frekuensi natural terakhir dari simulasi pada *odyssey white steel 1 putter* adalah sebesar 217.71 Hz. Arah deformasi terbesar pada modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural keenam adalah ke arah sumbu-y dan sumbu-z. Modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural keenam adalah *saddle mode shape*. Deformasi maksimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian poros (*shaft*). Adapun deformasi minimal terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dimana nilai deformasi ke arah sumbu-x adalah nol. Nilai deformasi negative pada simulasi adalah sebagai penunjuk arah deformasi dari *putter golf*.



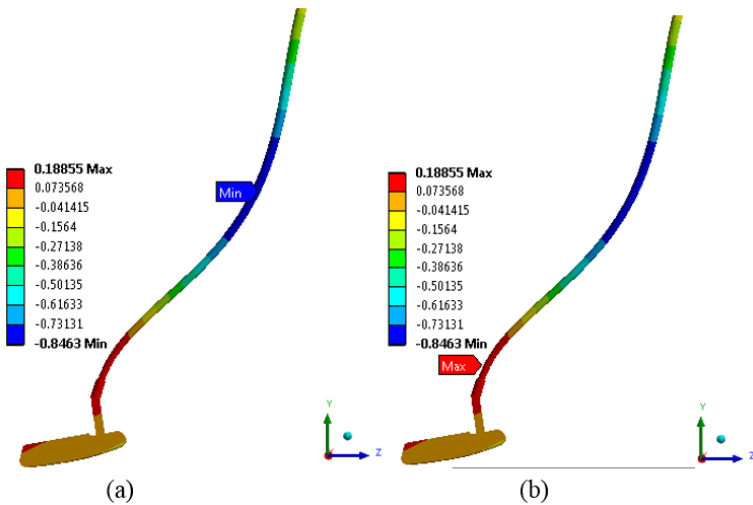
Gambar 4. 18 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 97.45 Hz.



Gambar 4. 19 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 97.45 Hz.



Gambar 4. 20 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf Odyssey White Steel 1 pada frekuensi 217.71 Hz.



Gambar 4. 21 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 217.71 Hz.

#### 4.2.2 *Putter Golf* dengan Material *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045

Tabel 4.2 Frekuensi Natural pada *Putter Golf* dengan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045.

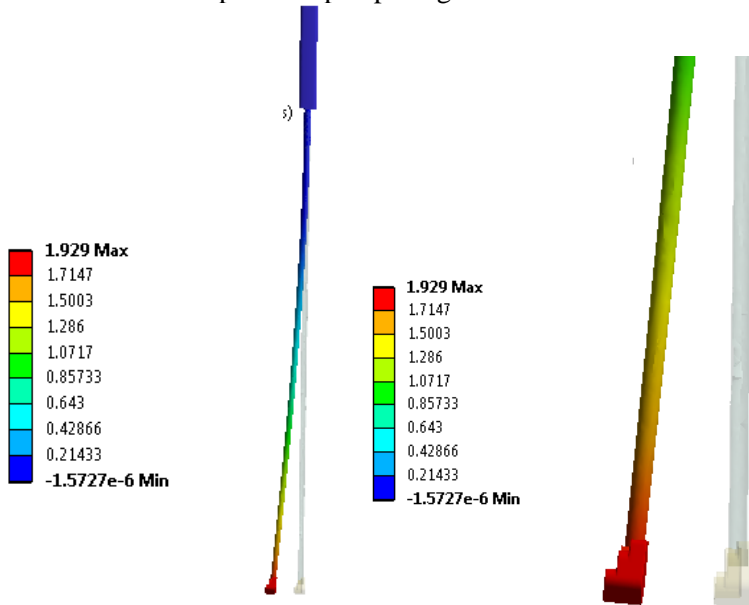
Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> )	Frekuensi Natural (Hz)
1	4.47
2	4.51
3	38.63
4	41.12
5	60.74
6	99.62

Simulasi *modal analysis* pada *putter golf* dengan *putter head* bermaterial baja karbon AISI 1045 dilakukan dengan input modal maksimal sebanyak enam dan dalam rentang frekuensi 0 Hz – 300 Hz. Dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan enam frekuensi



natural seperti yang terdapat pada tabel 4.2. Dari frekuensi natural yang ada, didapatkan juga enam modus getar (*mode shapes*) yang berbeda dari *putter golf* dengan *putter head* bermaterial baja karbon AISI 1045.

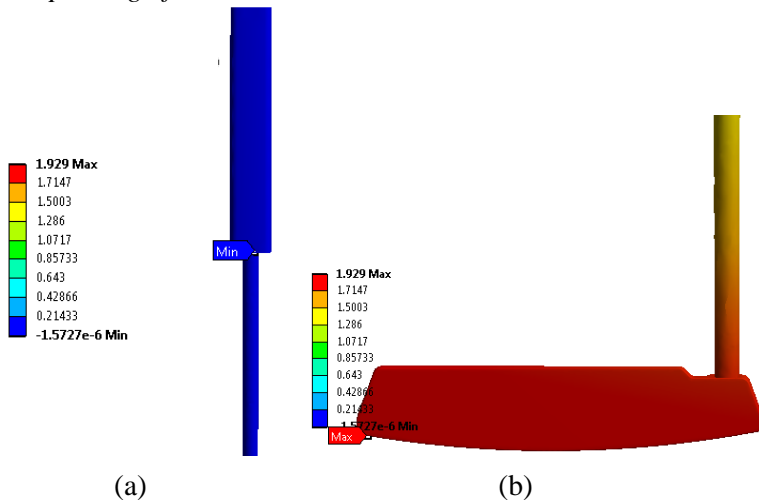
Hasil dari simulasi analisis modal (*modal analysis*), didapatkan frekuensi natural pertama dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah sebesar 4.47 Hz. Arah deformasi atau *displacement* dari frekuensi natural pertama adalah kearah sumbu-x seperti tampak pada gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Modus Getar (*Mode Shape*) *Putter Golf* dengan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 4.47 Hz.

Bentuk dari modus getar (*mode shape*) pada frekuensi natural pertama adalah *bending mode shape*. Selain itu pada frekuensi natural pertama, didapatkan letak deformasi atau *displacement* maksimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian *putter head*. Sementara, deformasi atau *displacement* minimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*). Hal tersebut dapat terjadi

dikarenakan adanya kondisi batas (*boundary condition*) yaitu *clamped-free boundary condition* pada bagian pegangan (*grip*) dari *putter golf*.



Gambar 4. 23 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 4.47 Hz.

Nilai frekuensi natural kedua dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah sebesar 4.51 Hz. Arah deformasi atau *displacement* dari *putter golf* adalah kearah sumbu-z seperti tampak pada gambar 4.24. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) pada frekuensi natural kedua adalah *bending mode shape*. Sama halnya dengan frekuensi natural pertama, pada frekuensi natural kedua didapatkan deformasi atau *displacement* ke arah sumbu-x maksimal terjadi pada bagian *putter head*. Sementara, deformasi atau *displacement* minimal kearah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dari *putter golf*.

Frekuensi natural ketiga dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah sebesar 38.63 Hz. Arah deformasi atau *displacement* dari frekuensi natural ini adalah kearah sumbu-x dan sumbu-z. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) dari

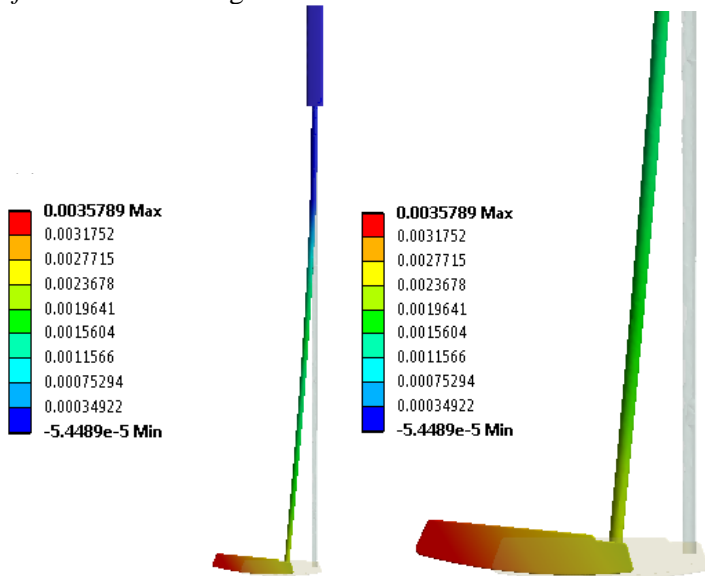
frekuensi natural ketiga adalah *torsional mode shape*. Deformasi maksimal kearah sumbu-x dari frekuensi natural ketiga terjadi pada bagian *putter head*. Adapun deformasi minimal kearah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*). Gambar 4.26 menunjukkan letak deformasi minimal akan terjadi pada bagian *putter head* namun dengan nilai deformasi bertanda negatif. Tanda negatif pada simulasi merupakan sebagai penunjuk arah deformasi dari *putter golf* kearah sumbu negatif.

Nilai frekuensi natural keempat dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah sebesar 41.12 Hz. Arah deformasi atau *displacement* dari frekuensi natural ke empat adalah kearah sumbu-y dan sumbu-z. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural keempat adalah *saddle mode shape*. Deformasi maksimal kearah sumbu-x pada frekuensi natural keempat terjadi pada bagian *putter head*. Adapun deformasi atau *displacement* minimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dimana terdapat kondisi batas *clamped-free*. Gambar 4.29 menunjukkan deformasi minimal terjadi pada *putter golf* dengan nilai negative. Sama hal seperti pada frekuensi natural ketiga bahwa tanda negatif pada simulasi merupakan penunjuk arah deformasi dari *putter golf* kearah sumbu negatif.

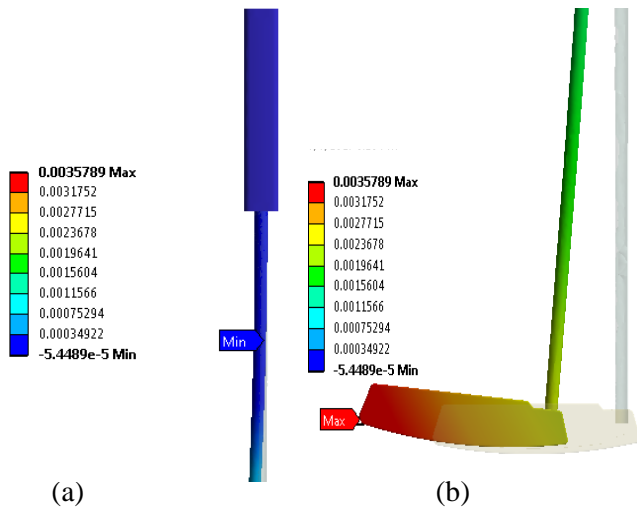
Nilai dari frekuensi natural kelima dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah sebesar 60.74 Hz. Pada frekuensi natural kelima, arah deformasi atau *displacement* yang terjadi adalah kearah sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z seperti tampak pada gambar 4.15. Seperti yang telah dituliskan sebelumnya, menurut Muralikrishna Koduri semakin besar nilai frekuensi natural maka bentuk dari modus getar (*mode shape*) yang dihasilkan akan semakin kompleks<sup>[11]</sup>. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural kelima adalah *torsional mode shape*. Deformasi atau *displacement* maksimal pada sumbu-x terjadi pada bagian poros (*shaft*) sementara deformasi atau *displacement* minimal terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dari *putter golf*. Gambar 4.31 menunjukkan bahwa deformasi minimal akan terjadi pada bagian *putter head* dengan nilai bertanda negatif.

Tanda negatif pada simulasi ini berarti arah dari deformasi yang terjadi adalah kearah sumbu negatif.

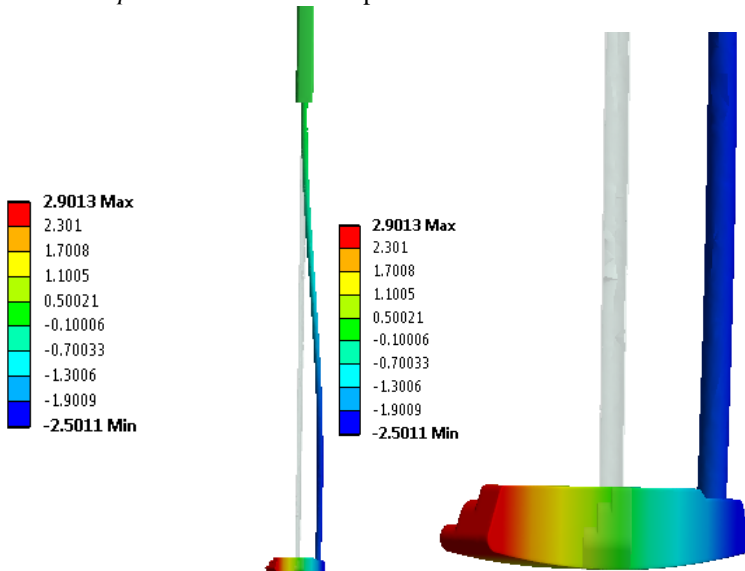
Nilai frekuensi natural terakhir yang didapatkan dari simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* pada *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah sebesar 99.62 Hz. Pada frekuensi natural keenam, deformasi atau *displacement* terjadi kearah sumbu-y dan sumbu-z seperti tampak pada gambar 4.32. Modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural keenam adalah *saddle mode shape*. Deformasi atau *displacement* maksimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian *putter head* dari *putter golf*. Adapun deformasi atau *displacement* minimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dimana nilai deformasi sama dengan nol. Gambar 4.33 menunjukkan bahwa deformasi minimal terjadi pada bagian poros (*shaft*) dengan deformasi bertanda negatif. Tanda negatif pada simulasi merupakan sebagai penunjuk arah deformasi dari *putter golf* kearah sumbu negatif.



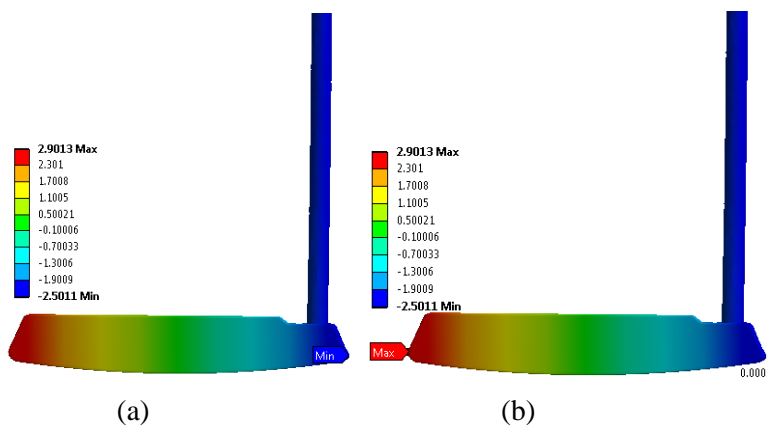
Gambar 4. 24 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 4.51 Hz.



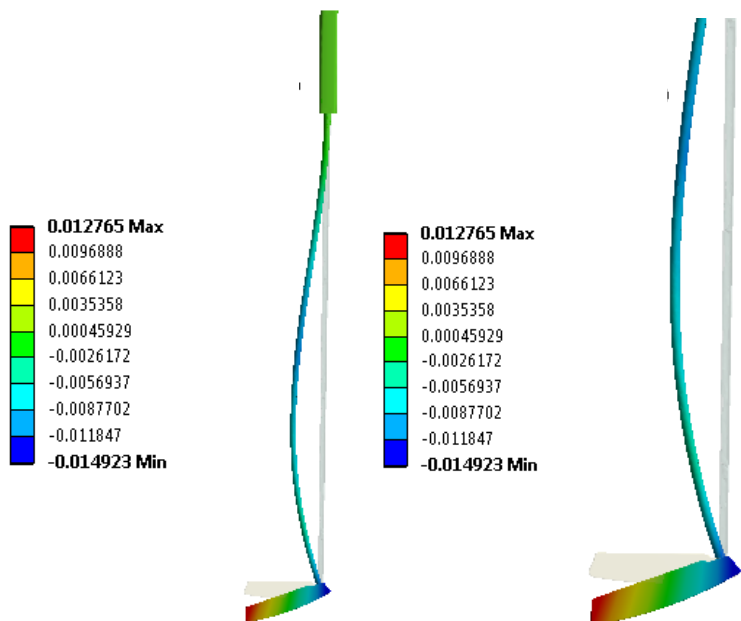
Gambar 4. 25 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 4.51 Hz.



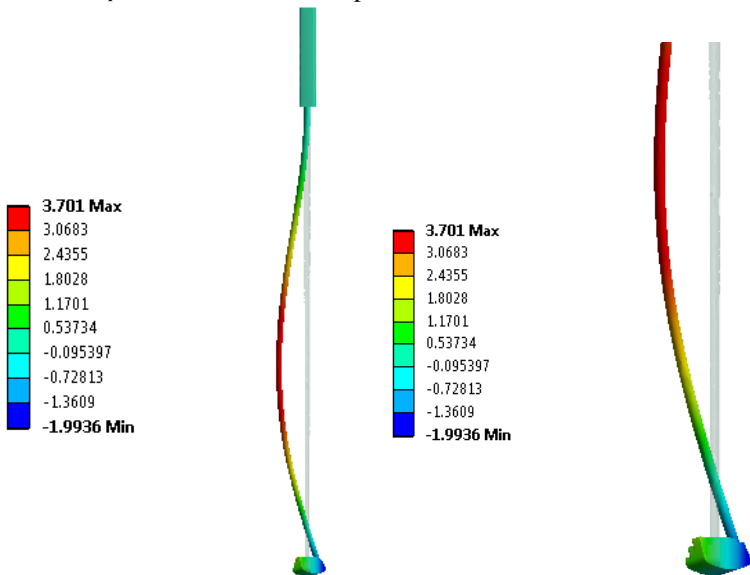
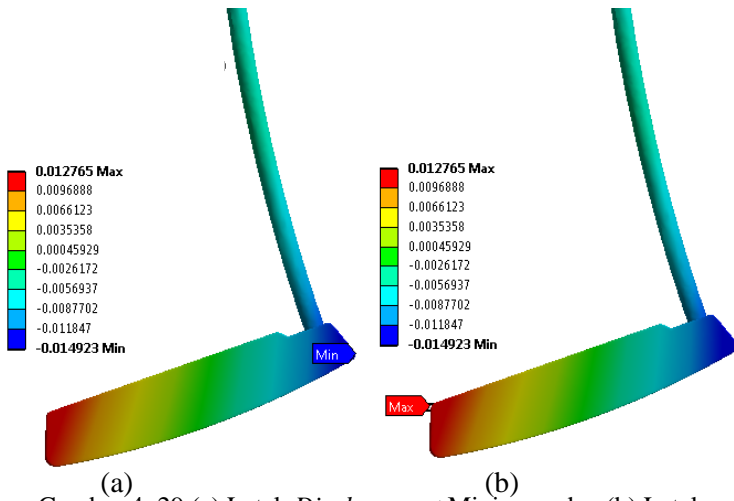
Gambar 4. 26 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 38.63 Hz.

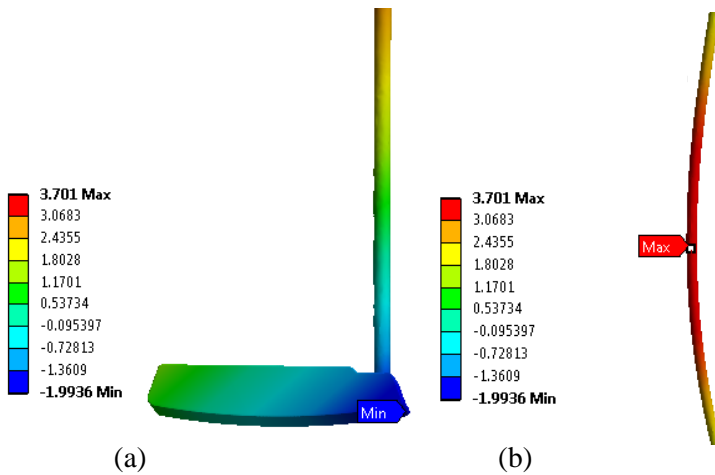


Gambar 4. 27 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 38.63 Hz.

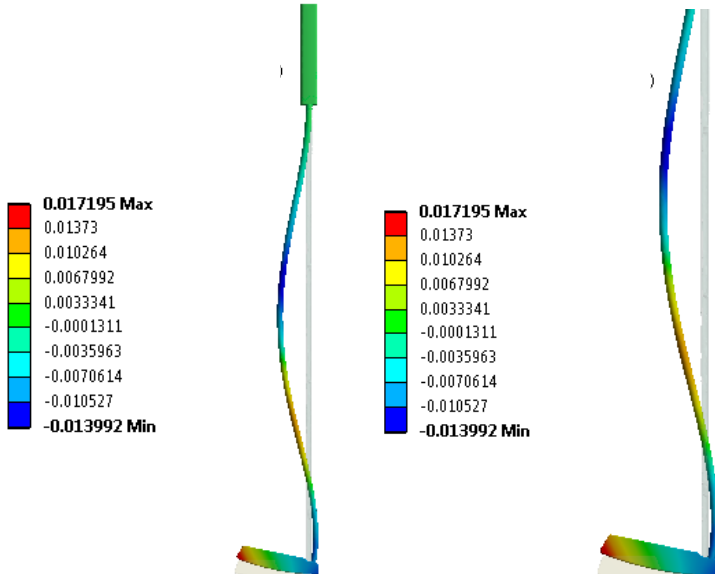


Gambar 4. 28 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 41.12 Hz.



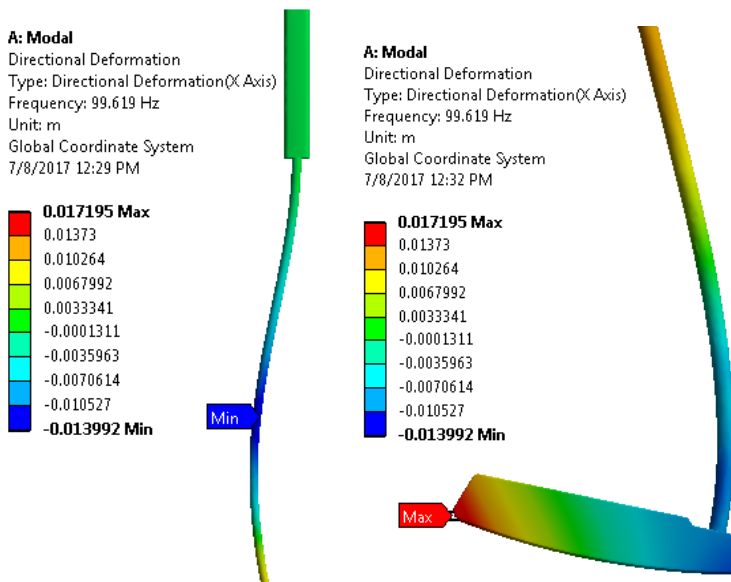


Gambar 4. 31 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 60.74 Hz.



Gambar 4. 32 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada frekuensi 99.62 Hz.





(a) (b)  
Gambar 4. 33 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 99.62 Hz.

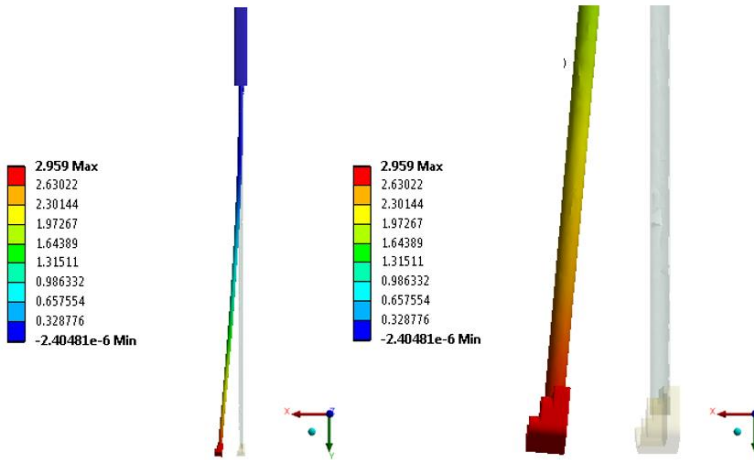
#### 4.2.3 *Putter Golf* dengan Material *Putter Head* Paduan Aluminium 7075-T651

Tabel 4.3 Frekuensi Natural pada *Putter Golf* dengan *Putter Head* Paduan Aluminium 7075-T651.

Modus Getar ( <i>Mode Shape</i> )	Frekuensi Natural (Hz)
1	6.87
2	6.92
3	50.18
4	51.71
5	74.42
6	124.30

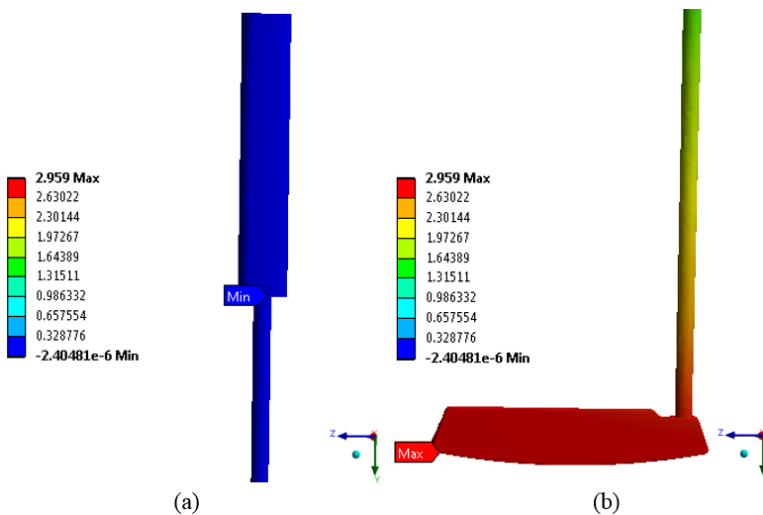
Usai mengetahui modus getar (*mode shapes*) dari *putter golf* dengan *putter head* bermaterial baja karbon, simulasi *modal*

*analysis* pada *putter golf* dengan *putter head* bermaterial paduan aluminium 7075-T651 dilakukan dengan input modal maksimal sebanyak enam dan dalam rentang frekuensi 0 Hz – 300 Hz. Asumsi pada simulasi dipastikan sama agar dapat dilakukan perbandingan dari hasil yang didapatkan. Dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan enam frekuensi natural seperti yang tertera pada tabel 4.3.



Gambar 4. 34 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 6.87 Hz.

Pada frekuensi natural pertama yaitu 6.87 Hz didapatkan modus getar (*mode shape*) dengan arah deformasi atau *displacement* ke arah sumbu-x seperti tampak pada gambar 4.34. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) pada frekuensi natural pertama adalah *bending mode shape*. Deformasi atau *displacement* ke arah sumbu-x maksimal terjadi pada bagian *putter head*. Sementara itu dikarenakan terdapat asumsi *clamped-free boundary condition*, pada bagian pegangan (*grip*) tidak mengalami deformasi sehingga nilai deformasi atau *displacement* sama dengan nol. Hal tersebut mengakibatkan *displacement* minimal akan terjadi pada bagian pegangan (*grip*).



Gambar 4. 35 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 6.87 Hz.

Frekuensi natural kedua dari *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 adalah 6.92 Hz. Modus getar (*mode shape*) pada frekuensi natural kedua memiliki arah deformasi atau *displacement* kearah sumbu-z. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural kedua adalah *bending mode shape*. Deformasi maksimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian poros (*shaft*) dari *putter golf*. Adapun deformasi minimal kearah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dikarenakan adanya kondisi batas *clamped-free*. Gambar 4.37 menunjukkan bahwa deformasi minimal akan terjadi pada bagian *putter head* dengan nilai deformasi negatif. Tanda negatif pada simulasi *modal analysis* dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* menandakan arah deformasi dari *putter golf*. Sehingga, nilai negatif yang tertera pada gambar 4.37 merupakan arah deformasi dari *putter golf* kearah sumbu-x negatif.

Selanjutnya, nilai frekuensi natural ketiga dari *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 adalah sebesar 50.18 Hz. Arah deformasi atau *displacement* dari frekuensi natural

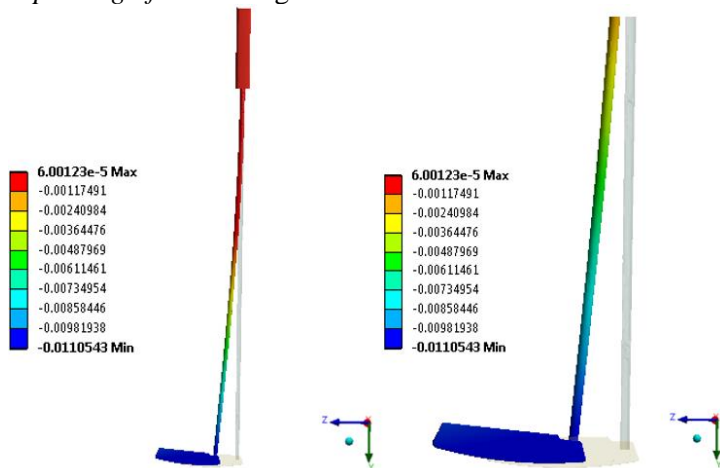
ketiga adalah kearah sumbu-x dan sumbu-z seperti tampak pada gambar 4.38. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) pada frekuensi natural ketiga adalah *torsional mode shape*. Deformasi maksimal kearah sumbu-x pada frekuensi natural ketiga terjadi pada bagian *putter head*. Adapun deformasi minimal kearah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dimana nilai deformasi yang terjadi adalah nol karena adanya kondisi batas *clamped-free*. Gambar 4.39 menunjukkan bahwa nilai deformasi minimal bernilai negatif terjadi pada bagian poros (*shaft*). Tanda negatif pada simulasi merupakan penunjuk arah deformasi dari *putter golf* kearah sumbu negatif.

Nilai frekuensi natural keempat dari *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 adalah sebesar 51.71 Hz. Gambar 4.40 menunjukkan deformasi atau *displacement* dari *putter golf* adalah kearah sumbu-y dan sumbu-z. Modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural keempat adalah *saddle mode shape*. Deformasi atau *displacement* maksimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian *putter head* dari *putter golf*. Adapun deformasi atau *displacement* minimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dari *putter golf* dimana nilai deformasi yang terjadi sama dengan nol. Gambar 4.41 menunjukkan bahwa deformasi minimal terjadi pada bagian poros (*shaft*), sama halnya seperti pada frekuensi natural ketiga nilai negatif pada simulasi yang dilakukan merupakan sebagai tanda penunjuk arah deformasi dari *putter golf*.

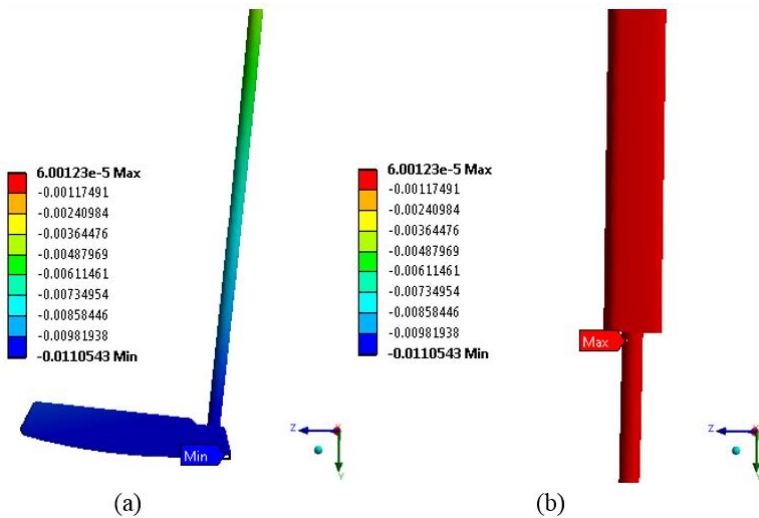
Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan perangkat lunak *finite element* pada *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 didapatkan nilai frekuensi natural kelima adalah sebesar 74.42 Hz. Deformasi atau *displacement* dari frekuensi natural kelima memiliki arah ke sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z. Modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural kelima merupakan *torsional mode shape*. Deformasi atau *displacement* maksimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian *putter head* dari *putter golf*. Adapun deformasi atau *displacement* minimal ke arah sumbu-x akan terjadi pada bagian pegangan (*grip*). Gambar 4.43 menunjukkan bahwa deformasi minimal akan terjadi pada *putter*

*head* dengan nilai deformasi atau *displacement* dari *putter golf* bertanda negatif. Arti dari tanda negatif pada simulasi modal merupakan penunjuk arah deformasi dari *putter golf* ke arah sumbu negatif.

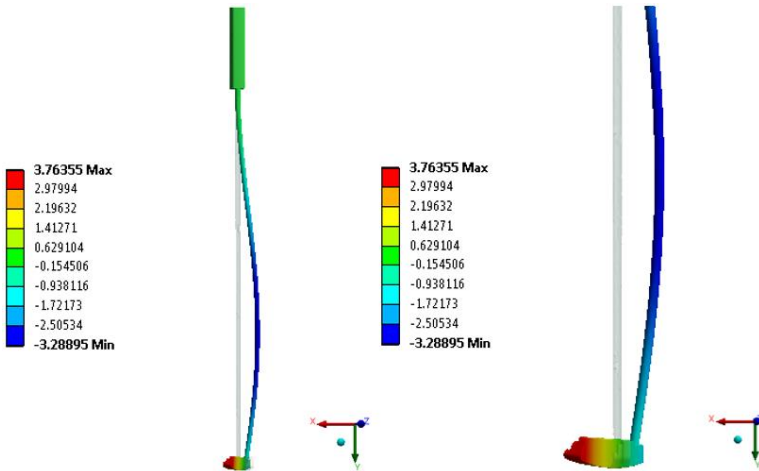
Nilai frekuensi natural terakhir yang didapatkan dari proses simulasi pada *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 adalah sebesar 124.3 Hz. Pada frekuensi natural keenam, arah deformasi atau *displacement* adalah ke arah sumbu-y dan sumbu-z. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural keenam adalah *saddle mode shape*. Deformasi atau *displacement* maksimal ke arah sumbu-x pada *putter golf* terjadi pada bagian *putter head* dari *putter head*. Adapun nilai deformasi minimal ke arah sumbu-x terjadi pada bagian pegangan (*grip*) dimana nilai deformasi sama dengan nol. Gambar 4.45 menunjukkan bahwa deformasi minimal terjadi pada bagian *putter head* dengan nilai deformasi negatif. Arti tanda negatif pada notasi deformasi adalah sebagai penunjuk arah deformasi ke arah sumbu negatif sehingga pada pembacaan nilai tanda positif atau negatif tidak perhitungkan dan nilai terkecil deformasi atau *displacement* dari *putter golf* sama dengan nol.



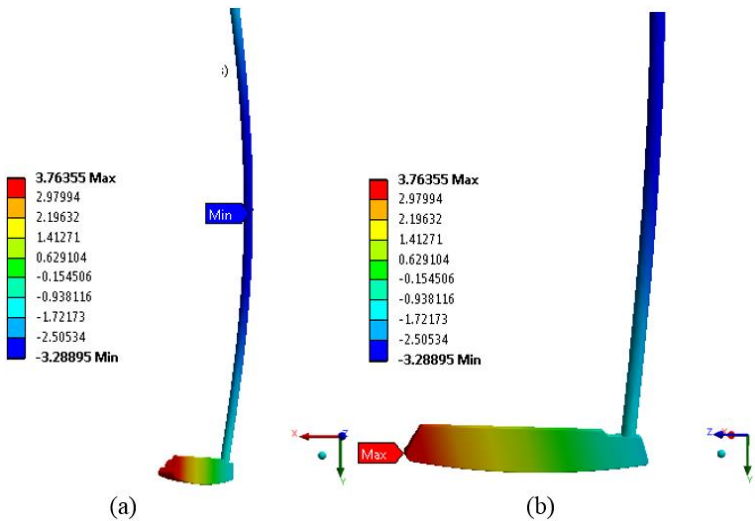
Gambar 4. 36 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 6.92 Hz.



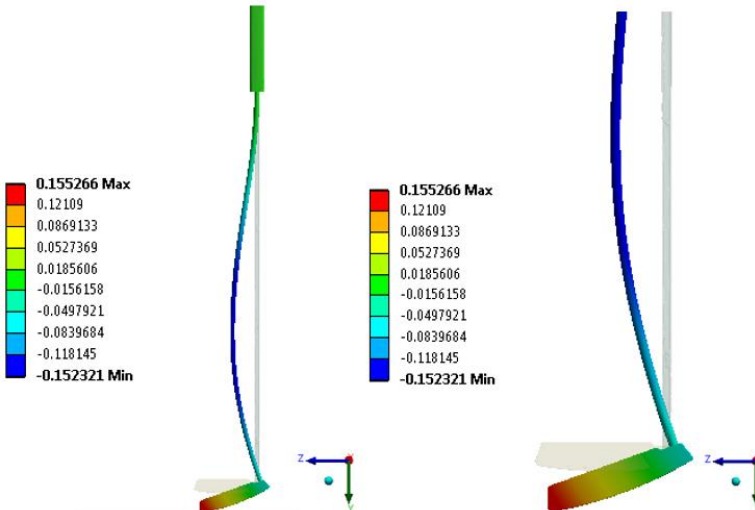
Gambar 4. 37 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 6.92 Hz.



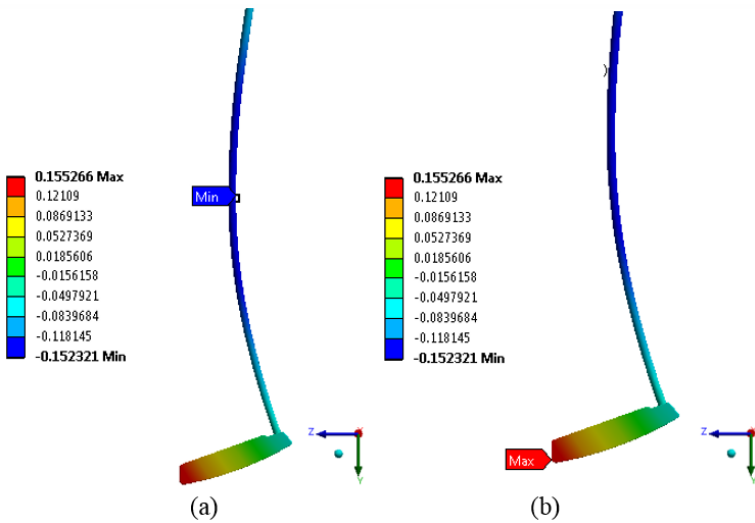
Gambar 4. 38 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan *Putter Head* Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 50.18 Hz.



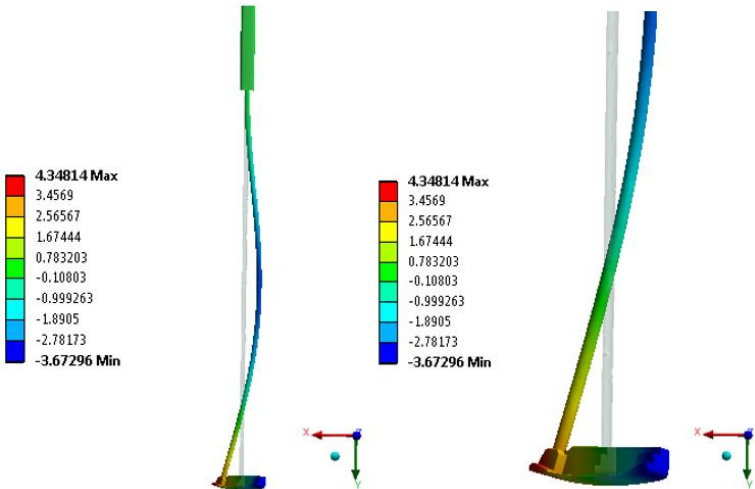
Gambar 4. 39 (a) Letak Displacement Minimum dan (b) Letak Displacement Maksimum pada frekuensi natural 50.18 Hz.



Gambar 4. 40 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 51.71 Hz.

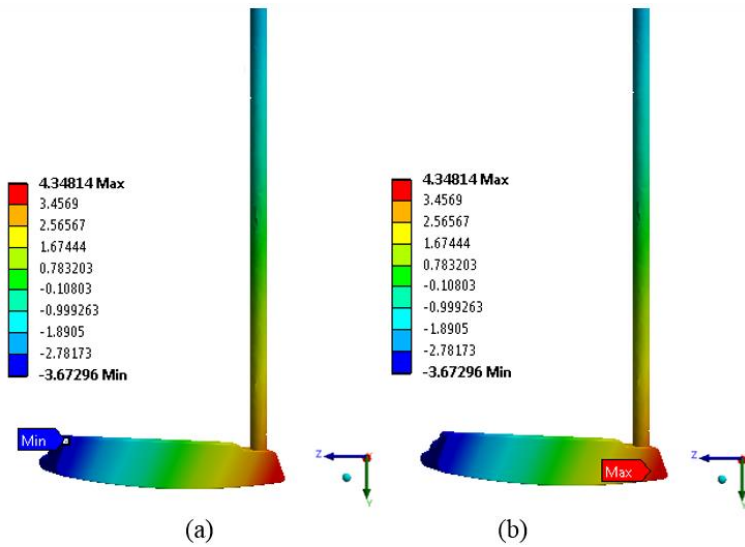


Gambar 4. 41 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 51.71 Hz.

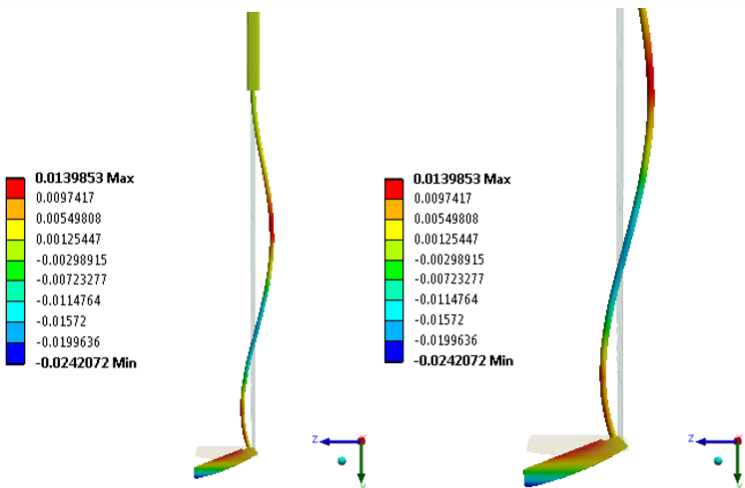


Gambar 4. 42 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 74.42 Hz.

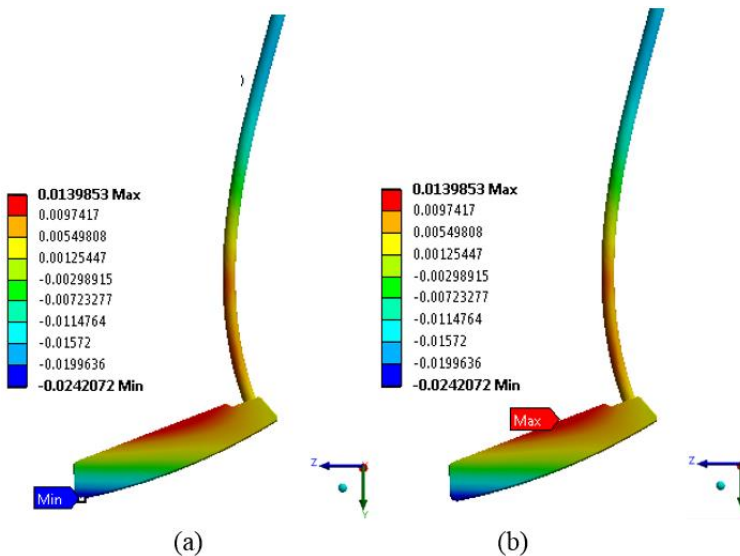




Gambar 4. 43 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 74.42 Hz.



Gambar 4. 44 Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada frekuensi 124.3 Hz.



Gambar 4. 45 (a) Letak *Displacement* Minimum dan (b) Letak *Displacement* Maksimum pada frekuensi natural 124.3 Hz.

#### 4.2.4 Perbandingan Frekuensi Natural serta Modus Getar (*Mode Shapes*) tiap Material

Simulasi yang dilakukan pada desain *odyssey white steel 1 putter*, *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 dan *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 didapatkan enam frekuensi natural serta modus getar. Hasil dari simulasi didapatkan bahwa dari tiap *putter golf* yang diuji yaitu dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 dan paduan aluminium 7075-T651 memiliki respon getar yang sama terhadap *odyssey white steel 1 putter* yang digunakan sebagai patokan. Frekuensi natural pertama dari tiap *putter golf* memiliki respon berupa *bending mode shape* dengan arah deformasi ke arah sumbu-x, lalu frekuensi natural kedua dari tiap *putter golf* menunjukkan *bending mode shape* kedua dengan arah deformasi ke arah sumbu-z. Adapun modus getar yang didapat dari frekuensi natural ketiga dari tiap *putter golf* memiliki respon yang sama yaitu *torsional*

*mode shape* dengan arah deformasi ke arah sumbu-x dan sumbu-z. Respon yang sama juga terjadi pada frekuensi natural keempat dimana modus getar (*mode shape*) yang terjadi dari tiap *putter golf* adalah *saddle mode shape* dengan deformasi karah sumbu-y dan sumbu-z. Begitupun pada frekuensi kelima dan keenam, pada frekuensi natural kelima tiap *putter golf* memiliki modus getar (*mode shape*) berupa *torsional mode shape* kedua dengan arah deformasi ke sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z. Dan pada frekuensi natural keenam dari tiap *putter golf* memiliki respon getar *saddle mode shape* kedua dengan arah deformasi ke sumbu-y dan sumbu-z. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) yang sama dari respon getar pada tiap *putter golf* tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya kesamaan pada kondisi batas yang digunakan yaitu *clamped-free boundary condition*.

Modus getar (*mode shape*) dari tiap *putter golf* terjadi pada frekuensi natural yang berbeda namun memiliki luaran modus getar (*mode shape*) yang sama seperti tampak pada tabel 4.4. Perbedaan pada frekuensi natural yang ada pada tiap respon yang sama dapat terjadi dikarenakan adanya perbedaan geometri, massa yang bergetar, serta material dari tiap *putter golf*. Begitupun yang terjadi pada nilai deformasi atau *displacement* yang terjadi dari tiap frekuensi natural berbeda. Nilai deformasi atau *displacement* yang berbeda dari tiap frekuensi natural dapat terjadi dikarenakan semakin besar nilai frekuensi natural maka deformasi atau *displacement* yang terjadi akan semakin kompleks <sup>[22]</sup>. Deformasi atau *displacement* yang kompleks tersebut juga merupakan salah satu faktor terjadinya bermacam-macam bentuk modus getar (*mode shape*) pada tiap *putter golf*.

Material yang berbeda dari tiap-tiap *putter golf* mempengaruhi besar kecilnya nilai frekuensi natural yang akan terjadi. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya perbedaan nilai modulus elastisitas. Semakin kecil nilai modulus elastisitas dari suatu material maka semakin kecil kekakuan dinamik ( $k$ ) yang dimilikinya. Nilai kekakuan dinamik ( $k$ ) akan mempengaruhi nilai dari frekuensi natural yang terjadi. Paduan aluminium 7075-T651 memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih kecil apabila diban-

Tabel 4.4 Hasil Simulasi *Odyssey White Steel 1 Putter*, *Putter Golf* dengan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045 dan *Putter Golf* dengan *Putter Head* Paduan Aluminium 7075-T651.

Jenis	Frekuensi Natural (Hz)	Arah Deformasi	Modus Getar (Mode Shapes)	Deformasi Maksimal Sumbu-x	Deformasi Minimal Sumbu-x
<i>Odyssey White Steel 1 Putter</i>	6.56	sumbu-x	<i>Bending</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	7.64	sumbu-z	<i>2<sup>nd</sup> Bending</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	69.30	sumbu-x dan sumbu-z	<i>Torsional</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	83.46	sumbu-y dan sumbu-z	<i>Saddle</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	97.45	sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z	<i>2<sup>nd</sup> Torsional</i>	Poros ( <i>shaft</i> )	Pegangan ( <i>grip</i> )
	217.71	sumbu-y dan sumbu-z	<i>2<sup>nd</sup> Saddle</i>	Poros ( <i>shaft</i> )	Pegangan ( <i>grip</i> )
<i>Putter Head</i> Baja Karbon AISI 1045	4.47	sumbu-x	<i>Bending</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	4.51	sumbu-z	<i>2<sup>nd</sup> Bending</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	38.63	sumbu-x dan sumbu-z	<i>Torsional</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	41.12	sumbu-y dan sumbu-z	<i>Saddle</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	60.74	sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z	<i>2<sup>nd</sup> Torsional</i>	Poros ( <i>shaft</i> )	Pegangan ( <i>grip</i> )
	99.62	sumbu-y dan sumbu-z	<i>2<sup>nd</sup> Saddle</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
<i>Putter Head</i> Paduan Aluminium 7075-T651	6.87	sumbu-x	<i>Bending</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	6.92	sumbu-z	<i>2<sup>nd</sup> Bending</i>	Poros ( <i>shaft</i> )	Pegangan ( <i>grip</i> )
	50.92	sumbu-x dan sumbu-z	<i>Torsional</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	51.71	sumbu-y dan sumbu-z	<i>Saddle</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	74.42	sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z	<i>2<sup>nd</sup> Torsional</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )
	124.3	sumbu-y dan sumbu-z	<i>2<sup>nd</sup> Saddle</i>	<i>Putter Head</i>	Pegangan ( <i>grip</i> )

-dingkan dengan baja karbon AISI 1045 seperti tertera pada bab tinjauan pustaka. Hasil dari simulasi yang telah dilakukan dengan desain yang sama namun material berbeda didapatkan nilai frekuensi natural paduan aluminium 7075-T651 lebih besar dibandingkan baja karbin AISI 1045. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa semakin kecil nilai modulus elastisitas, nilai fekuensi natural akan semakin besar. Namun perbandingan tidak dapat dilakukan dikarenakan massa dari kedua *putter golf* baik dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 atau dengan baja karbon AISI 1045 tidak sama. Untuk membandingkan kedua respon massa yang bergetar paling tidak memiliki selisih nilai yang kecil.

#### **4.3 *Experimental Modal Analysis* pada *Putter Golf* terhadap Variasi Material pada *Putter Head***

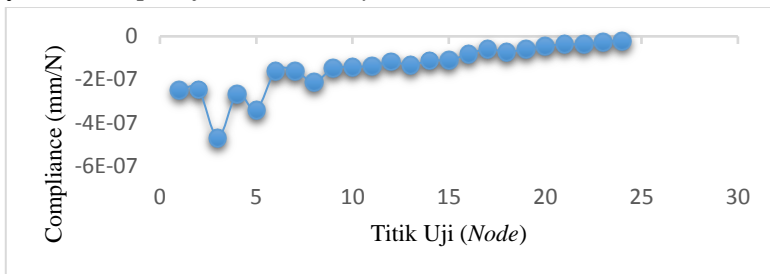
*Experimental Modal Analysis* dilakukan untuk mendapatkan modus getar terhadap frekuensi natural yang ada pada tiap *putter golf*. *Experimental modal analysis* yang dilakukan menggunakan satu buah *accelerometer* yang diletakkan pada bagian muka (*face*) dari *putter head* sebagai *receiver*. *Accelerometer* digunakan untuk menangkap respon getaran berupa akselerasi terhadap domain waktu dan memiliki satu buah output untuk mengukur respon getaran dari satu sumbu saja. Oleh karena itu, data yang didapatkan pada *experimental modal analysis* merupakan total respon getar dari *putter golf* yang memiliki arah tegak lurus terhadap muka (*face*) dari *putter golf*. Titik uji pada *experimental modal analysis* dari *putter golf* adalah sebanyak 29 titik (gambar 3.8) untuk *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 dan paduan aluminium 7075-T65. Titik uji untuk *odyssey white steel 1 putter* adalah sebanyak 24 titik (gambar 3.9). Dari tiap titik uji yang ada dilakukan 15 kali pukulan untuk memudahkan proses pemilihan data.

#### 4.3.1 *Experimental Modal Analysis Odyssey White Steel 1 Putter*

*Experimental modal analysis* dilakukan pada *odyssey white steel 1 putter* sebagai acuan respon getar dan didapatkan dua frekuensi natural. Adapun nilai frekuensi natural dari *odyssey white steel 1 putter* adalah 5.99 Hz dan 51.99 Hz.

##### 4.3.1.1 Modus Getar pada Frekuensi Natural 5.99 Hertz

Frekuensi natural pertama yang dihasilkan oleh *putter golf odyssey white hot* adalah sebesar 5.99 Hz. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural pertama tampak pada gambar 4.46. Perbedaan besar nilai *compliance* (X/F) dari tiap titik uji dikarenakan adanya perbedaan geometri serta kekakuan dari tiap bagian *putter golf*. Namun, dapat terlihat pada titik uji 9 – 29 terdapat kemiripan nilai *compliance* dikarenakan material yang sama. Adapun perbedaan nilai terjadi dikarenakan dimensi poros (*shaft*) memiliki diameter akhir yang lebih besar dibanding diameter awalnya. Bentuk modus getar (*mode shape*) yang didapat juga tidak lepas dari adanya kondisi batas yang digunakan yaitu *clamped-free boundary condition*.



Gambar 4. 46 Grafik Modus Getar (*Mode Shape*) *Odyssey White Steel 1 Putter* pada Frekuensi Natural Pertama.

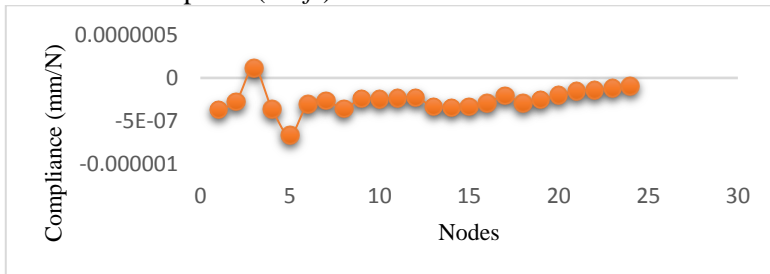
Nilai *compliance* maksimal pada frekuensi natural pertama terletak pada titik uji ke-3 dengan besar nilai  $4.70 \times 10^{-7} \text{ mm/N}$ . Nilai *compliance* minimal dari frekuensi natural pertama adalah sebesar  $4.54 \times 10^{-8} \text{ mm/N}$  yang terletak pada titik ke-24. Adapun nilai *compliance* serta besar sudut fasa ( $\phi$ ) dari tiap titik uji pada frekuensi natural pertama tertera pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 *Compliance* dan Sudut Fasa *Odyssey White Steel 1 Putter* pada Frekuensi Natural Pertama.

Titik Uji (Node)	<i>Compliance</i> ( $\text{mm/N}$ )	Sudut Fasa ( $^\circ$ )
1	$2.48 \times 10^{-7}$	-47
2	$2.46 \times 10^{-7}$	-69
3	$4.70 \times 10^{-7}$	-50
4	$2.68 \times 10^{-7}$	-47
5	$3.41 \times 10^{-7}$	-53
6	$1.61 \times 10^{-7}$	-69
7	$1.59 \times 10^{-7}$	-66
8	$2.12 \times 10^{-7}$	-59
9	$1.48 \times 10^{-7}$	-50
10	$1.43 \times 10^{-7}$	-42
11	$1.37 \times 10^{-7}$	-36
12	$1.18 \times 10^{-7}$	-35
13	$1.48 \times 10^{-7}$	-66
14	$1.43 \times 10^{-7}$	-70
15	$1.37 \times 10^{-7}$	-69
16	$1.18 \times 10^{-7}$	-72
17	$1.33 \times 10^{-7}$	-83
18	$1.12 \times 10^{-7}$	-75
19	$1.11 \times 10^{-7}$	-76
20	$8.31 \times 10^{-8}$	-74
21	$5.80 \times 10^{-8}$	-70
22	$7.28 \times 10^{-8}$	-74
23	$5.83 \times 10^{-8}$	-70
24	$4.54 \times 10^{-8}$	-71

#### 4.3.1.2 Modus Getar Pada Frekuensi Natural 51.99 Hertz

Hasil dari *experimental modal analysis* yang dilakukan pada *odyssey white steel 1 putter* didapatkan nilai frekuensi natural kedua adalah sebesar 51.99 Hz. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural kedua terlihat pada gambar 4.47. Berbeda dengan frekuensi natural pertama, nilai sudut fasa pada frekuensi natural kedua terdapat satu nilai positif yang sebagai tanda arah deformasi kearah sumbu positif pada titik uji ke-3. Perbedaan respon yang terjadi diakrenakan nilai frekuensi yang semakin besar akan menghasilkan modus getar (*mode shape*) yang semakin kompleks<sup>[22]</sup>. Terlihat pada titik uji 9 – 29 memiliki kemiripan nilai *compliance* yang disebabkan oleh material yang sama sepanjang poros (*shaft*). Selisih nilai yang ada pada titik 9-29 dapat terjadi dikarenakan adanya perubahan geometri dimana diameter awal poros (*shaft*) lebih kecil dibandingkan dengan diameter akhir poros (*shaft*).



Gambar 4. 47 Grafik Modus Getar (*Mode Shape*) *Odyssey White Steel 1 Putter* pada Frekuensi Natural Kedua.

Nilai *compliance* maksimal pada frekuensi natural kedua terletak pada titik uji ke-5 dengan besar nilai  $6.61 \times 10^{-7} \text{ mm/N}$ . Nilai *compliance* minimal dari frekuensi natural pertama adalah sebesar  $9.31 \times 10^{-8} \text{ mm/N}$  yang terletak pada titik ke-24. Adapun nilai *compliance* serta besar sudut fasa ( $\phi$ ) dari tiap titik uji pada frekuensi natural pertama tertera pada tabel 4.6.



Tabel 4.6 *Compliance* dan Sudut Fasa *Odyssey White Steel 1 Putter* pada Frekuensi Natural Kedua.

Titik Uji (Node)	<i>Compliance</i> ( $\text{m}/\text{N}$ )	Sudut Fasa ( $^{\circ}$ )
1	$3.64 \times 10^{-7}$	-56
2	$2.69 \times 10^{-7}$	-74
3	$1.17 \times 10^{-7}$	89
4	$3.59 \times 10^{-7}$	-65
5	$6.61 \times 10^{-7}$	-45
6	$2.99 \times 10^{-7}$	-66
7	$2.60 \times 10^{-7}$	-63
8	$2.38 \times 10^{-7}$	-56
9	$2.41 \times 10^{-7}$	-43
10	$2.28 \times 10^{-7}$	-35
11	$2.24 \times 10^{-7}$	-27
12	$2.38 \times 10^{-7}$	-27
13	$3.31 \times 10^{-7}$	-61
14	$3.42 \times 10^{-7}$	-68
15	$3.29 \times 10^{-7}$	-77
16	$2.92 \times 10^{-7}$	-63
17	$2.03 \times 10^{-7}$	-70
18	$2.91 \times 10^{-7}$	-78
19	$2.50 \times 10^{-7}$	-88
20	$1.96 \times 10^{-7}$	-80
21	$1.50 \times 10^{-7}$	-81
22	$1.40 \times 10^{-7}$	-81
23	$1.14 \times 10^{-7}$	-84
24	$9.31 \times 10^{-8}$	-88

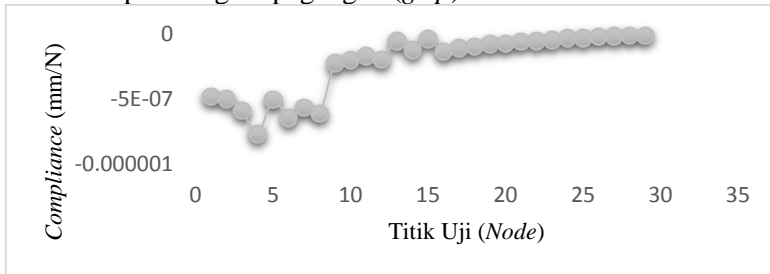
#### 4.3.2 *Putter Golf* dengan Material *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045

Hasil dari *experimental modal analysis* dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 didapatkan dua frekuensi

natural. Adapun nilai frekuensi natural dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah 6.99 Hz dan 40.94 Hz.

#### 4.3.2.1 Modus Getaar pada Frekuensi Natural 6.99 Hertz

Frekuensi natural pertama yang didapatkan dari *experimental modal analysis* pada *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah sebesar 6.99 Hz. Modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural pertama terdapat pada gambar 4.48. Adapun perbedaan besar nilai *compliance* (X/F) dari tiap titik uji disebabkan oleh perbedaan geometri serta kekakuan dari tiap bagian *putter golf*. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) pada frekuensi natural pertama juga tidak lepas dari kondisi batas yang digunakan dalam pengujian ini yaitu *clamped-fixed boundary condition* pada bagian pegangan (*grip*).



Gambar 4. 48 Grafik Modus Getar (*Mode Shape*) *Putter Golf* dengan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045 pada Frekuensi Natural Pertama.

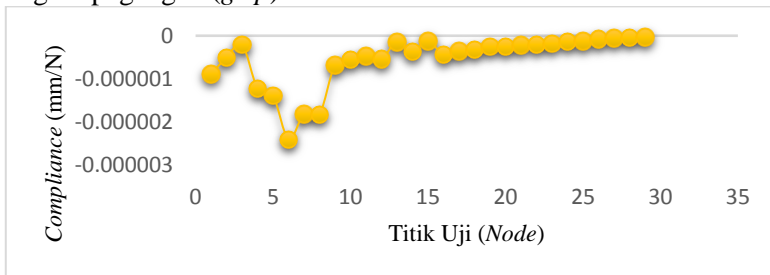
Nilai *compliance* maksimal pada frekuensi natural pertama terletak pada titik uji ke-4 dengan besar nilai  $7.69 \times 10^{-7} \text{ mm/N}$ . Nilai *compliance* minimal dari frekuensi natural pertama adalah sebesar  $8.99 \times 10^{-9} \text{ mm/N}$  yang terletak pada titik ke-29. Adapun nilai *compliance* serta besar sudut fasa ( $\phi$ ) dari tiap titik uji pada frekuensi natural pertama tertera pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 *Compliance* dan Sudut Fasa *Putter Golf* dengan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045 pada Frekuensi Natural Pertama.

Titik Uji (Node)	<i>Compliance</i> ( $\text{m}/\text{N}$ )	Sudut Fasa ( $^{\circ}$ )
1	$4.80 \times 10^{-7}$	-38
2	$5 \times 10^{-7}$	-37
3	$5.89 \times 10^{-7}$	-36
4	$7.69 \times 10^{-7}$	-65
5	$5.06 \times 10^{-7}$	-45
6	$6.44 \times 10^{-7}$	-66
7	$5.67 \times 10^{-7}$	-63
8	$6.11 \times 10^{-7}$	-56
9	$2.24 \times 10^{-7}$	-43
10	$1.98 \times 10^{-7}$	-35
11	$1.70 \times 10^{-7}$	-27
12	$1.94 \times 10^{-7}$	-27
13	$5.18 \times 10^{-8}$	-61
14	$1.22 \times 10^{-7}$	-68
15	$3.98 \times 10^{-8}$	-77
16	$1.35 \times 10^{-7}$	-31
17	$1.06 \times 10^{-7}$	-35
18	$9.64 \times 10^{-8}$	-35
19	$7.85 \times 10^{-8}$	-88
20	$7.42 \times 10^{-8}$	-80
21	$5.67 \times 10^{-8}$	-81
22	$5.32 \times 10^{-8}$	-81
23	$4.46 \times 10^{-8}$	-84
24	$3.02 \times 10^{-8}$	-88
25	$3.14 \times 10^{-8}$	-33
26	$1.95 \times 10^{-8}$	-33
27	$1.47 \times 10^{-8}$	-35
28	$1.03 \times 10^{-8}$	-35
29	$8.99 \times 10^{-9}$	-35

#### 4.3.2.2 Modus Getar pada Frekuensi Natural 40.94 Hertz

Nilai frekuensi natural kedua dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah sebesar 40.94 Hz. Bentuk dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural kedua dapat dilihat pada gambar 4.49. Grafik dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural kedua menunjukkan kemiripan nilai *compliance* mulai dari titik uji 9 – 29. Adapun kemiripan nilai *compliance* dapat terjadi dikarenakan samanya material di sepanjang poros (*shaft*). Selisih yang ada pada nilai *compliance* sepanjang poros (*shaft*) dikarenakan adanya perubahan besar diameter poros (*shaft*) dari ujung kepala (*head*) *putter* hingga bagian pegangan (*grip*).



Gambar 4. 49 Grafik Modus Getar (Mode Shape) Putter Golf dengan Putter Head Baja Karbon AISI 1045 pada Frekuensi Natural Kedua.

Pada frekuensi natural kedua, nilai *compliance* maksimal terletak pada titik uji ke-6 dengan nilai sebesar  $2.39 \times 10^{-6} \text{ mm/N}$ . Nilai *compliance* minimal dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 adalah sebesar  $3.22 \times 10^{-8} \text{ mm/N}$  yang terletak pada titik uji ke 29 pada bagian poros (*shaft*) dari *putter golf*. Adapun nilai *compliance* serta sudut fasa ( $\phi$ ) dari tiap titik uji pada *putter golf* tertera pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 *Compliance* dan Sudut Fasa *Putter Golf* dengan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045 pada Frekuensi Natural Kedua.

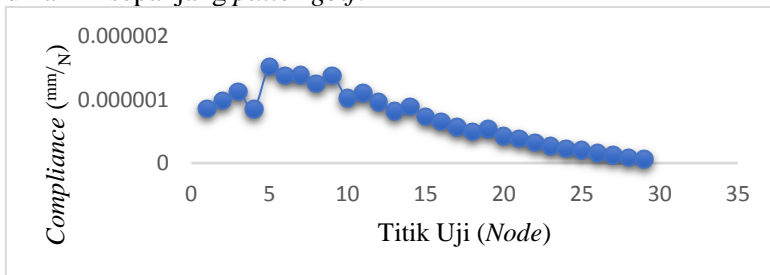
Titik Uji (Node)	<i>Compliance</i> (m/N)	Sudut Fasa (°)
1	$8.82 \times 10^{-7}$	-83
2	$5.05 \times 10^{-7}$	-81
3	$2.02 \times 10^{-7}$	76
4	$1.22 \times 10^{-6}$	-83
5	$1.38 \times 10^{-6}$	-75
6	$2.39 \times 10^{-6}$	-75
7	$1.81 \times 10^{-6}$	-67
8	$1.82 \times 10^{-6}$	-65
9	$6.69 \times 10^{-7}$	-52
10	$5.43 \times 10^{-7}$	-46
11	$4.72 \times 10^{-7}$	-49
12	$5.36 \times 10^{-7}$	-54
13	$1.39 \times 10^{-7}$	-45
14	$3.66 \times 10^{-7}$	-42
15	$1.17 \times 10^{-7}$	-43
16	$4.37 \times 10^{-7}$	-44
17	$3.48 \times 10^{-7}$	-50
18	$3.15 \times 10^{-7}$	-50
19	$2.54 \times 10^{-7}$	-44
20	$2.52 \times 10^{-7}$	-47
21	$2.15 \times 10^{-7}$	-54
22	$2.01 \times 10^{-7}$	-60
23	$1.85 \times 10^{-7}$	-60
24	$1.33 \times 10^{-7}$	-55
25	$1.14 \times 10^{-7}$	-60
26	$8.18 \times 10^{-8}$	-62
27	$1.47 \times 10^{-8}$	-35
28	$1.03 \times 10^{-8}$	-35
29	$8.99 \times 10^{-9}$	-35

### 4.3.3 Putter Golf dengan Material Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651

Frekuensi natural yang didapatkan dari *experimental modal analysis* pada *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 adalah sebanyak dua frekuensi natural. Adapun besar nilai frekuensi natural dari *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 adalah 8.99 Hz dan 55.92 Hz.

#### 4.3.3.1 Modus Getar pada Frekuensi Natural 8.99 Hertz

Frekuensi natural pertama dari *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 adalah sebesar 8.99 Hz. Modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural pertama pada *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 tampak pada gambar 4.50. Adapun perbedaan dari nilai *compliance* pada tiap titik uji dikarenakan adanya perbedaan geometri dan kekakuan dinamik sepanjang *putter golf*.



Gambar 4. 50 Grafik Modus Getar (*Mode Shape*) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada Frekuensi Natural Pertama.

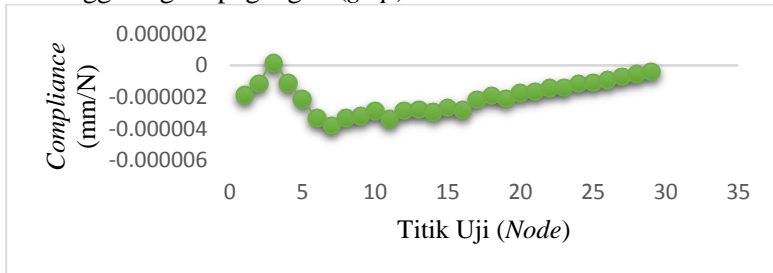
Nilai *compliance* maksimal pada frekuensi natural pertama terletak pada titik uji ke-5 pada bagian *putter head* dari *putter golf* dengan nilai *compliance* sebesar  $1.52 \times 10^{-6} \text{ mm/N}$ . Nilai *compliance* minimal pada frekuensi natural pertama adalah sebesar  $6.77 \times 10^{-8} \text{ mm/N}$  yang terletak pada titik uji ke-29 pada bagian poros (*shaft*) dari *putter golf*. Adapun nilai *compliance* serta sudut fasa ( $\phi$ ) dari tiap titik uji pada frekuensi natural pertama tertera pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 *Compliance* dan Sudut Fasa *Putter Golf* dengan *Putter Head* Paduan Aluminium 7075-T651 pada Frekuensi Natural Pertama.

Titik Uji ( <i>Node</i> )	<i>Compliance</i> ( $\text{m}/\text{N}$ )	Sudut Fasa ( $^{\circ}$ )
1	$8.63 \times 10^{-7}$	39
2	$9.86 \times 10^{-7}$	39
3	$1.13 \times 10^{-6}$	2
4	$8.51 \times 10^{-7}$	38
5	$1.52 \times 10^{-6}$	53
6	$1.38 \times 10^{-6}$	46
7	$1.39 \times 10^{-6}$	47
8	$1.26 \times 10^{-6}$	47
9	$1.38 \times 10^{-6}$	58
10	$1.03 \times 10^{-6}$	85
11	$1.10 \times 10^{-6}$	49
12	$9.57 \times 10^{-7}$	51
13	$8.25 \times 10^{-7}$	51
14	$8.95 \times 10^{-7}$	52
15	$7.31 \times 10^{-7}$	51
16	$6.58 \times 10^{-7}$	48
17	$5.70 \times 10^{-7}$	46
18	$4.96 \times 10^{-7}$	47
19	$5.43 \times 10^{-7}$	48
20	$4.28 \times 10^{-7}$	47
21	$3.87 \times 10^{-7}$	45
22	$3.25 \times 10^{-7}$	44
23	$2.68 \times 10^{-7}$	43
24	$2.33 \times 10^{-7}$	42
25	$2.03 \times 10^{-7}$	41
26	$1.63 \times 10^{-7}$	40
27	$1.24 \times 10^{-7}$	37
28	$8.49 \times 10^{-8}$	36
29	$6.77 \times 10^{-8}$	37

#### 4.3.3.2 Modus Getar pada Frekuensi Natural 55.92 Hertz

Hasil dari *experimental modal analysis* pada *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 memiliki nilai frekuensi natural kedua sebesar 55.92 Hz. Modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural kedua tampak pada gambar 4.51. Grafik dari modus getar (*mode shape*) dari frekuensi natural kedua menunjukkan kemiripan nilai *compliance* mulai dari titik uji 9 – 29. Adapun kemiripan nilai *compliance* dapat terjadi dikarenakan samanya material di sepanjang poros (*shaft*). Selisih yang ada pada nilai *compliance* sepanjang poros (*shaft*) dikarenakan adanya perubahan besar diameter poros (*shaft*) dari ujung kepala (*head*) *putter* hingga bagian pegangan (*grip*).



Gambar 4. 51 Grafik Modus Getar (Mode Shape) Putter Golf dengan Putter Head Paduan Aluminium 7075-T651 pada Frekuensi Natural Kedua.

Nilai *compliance* maksimal dari *putter golf* terdapat pada titik uji ke-7 dengan besar nilai  $3.81 \times 10^{-6} \text{ mm/N}$ . Nilai *compliance* minimal dari frekuensi natural kedua adalah sebesar  $1.68 \times 10^{-7} \text{ mm/N}$  yang terletak pada titik uji ke-3 pada bagian *putter head* dari *putter golf*. Adapaun nilai *compliance* serta sudut fasa ( $\phi$ ) dari tiap titik uji tertera pada tabel 4.10.



Tabel 4.10 *Compliance* dan Sudut Fasa *Putter Golf* dengan *Putter Head* Paduan Aluminium 7075-T651 pada Frekuensi Natural Kedua.

Titik Uji (Node)	<i>Compliance</i> (m/N)	Sudut Fasa (°)
1	$1.86 \times 10^{-6}$	-60
2	$1.13 \times 10^{-6}$	-56
3	$1.68 \times 10^{-7}$	64
4	$1.11 \times 10^{-6}$	-66
5	$2.13 \times 10^{-6}$	-36
6	$3.33 \times 10^{-6}$	-43
7	$3.81 \times 10^{-6}$	-42
8	$3.32 \times 10^{-6}$	-57
9	$3.19 \times 10^{-6}$	-72
10	$2.86 \times 10^{-6}$	-49
11	$3.38 \times 10^{-6}$	-46
12	$2.85 \times 10^{-6}$	-41
13	$2.79 \times 10^{-6}$	-33
14	$2.93 \times 10^{-6}$	-44
15	$2.65 \times 10^{-6}$	-32
16	$2.82 \times 10^{-6}$	-38
17	$2.13 \times 10^{-6}$	-40
18	$1.89 \times 10^{-6}$	-40
19	$2.09 \times 10^{-6}$	-41
20	$1.76 \times 10^{-6}$	-38
21	$1.63 \times 10^{-6}$	-44
22	$1.41 \times 10^{-6}$	-43
23	$1.39 \times 10^{-6}$	-39
24	$1.13 \times 10^{-6}$	-40
25	$1.07 \times 10^{-6}$	-43
26	$9.30 \times 10^{-7}$	-45
27	$7.13 \times 10^{-7}$	-39
28	$5.49 \times 10^{-7}$	-41
29	$3.80 \times 10^{-7}$	-40

#### 4.4 Perbandingan Modus Getar (*Mode Shape*) pada Frekuensi Natural Pertama

Dari dua frekuensi natural yang didapatkan pada *experimental modal analysis*, digunakan frekuensi natural pertama sebagai data yang akan di analisa. Frekuensi natural pertama dipilih dikarenakan memiliki nilai sudut fasa yang seragam arahnya. Adanya keseragaman arah dari sudut fasa merupakan ciri dari *bending mode shape* atau modus getar (*mode shape*) pada *swing plane* dimana arah *displacement* atau amplitudo yang terjadi adalah searah dengan sumbu datangnya gaya. Adapun hasil dari *experimental modal analysis* pada ketiga *putter golf* tertera pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil *Experimental Modal Analysis* pada *Odyssey White Steel 1 Putter*, *Putter Golf* dengan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045 dan *Putter Golf* dengan *Putter Head* Paduan Aluminium 7075-T651.

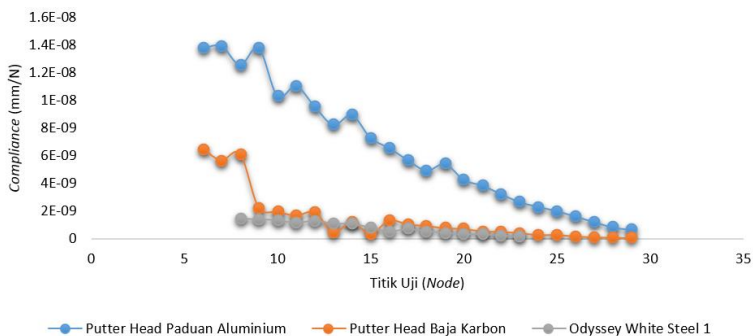
Jenis	Frekuensi Natural (Hz)	Modus Getar ( <i>Mode Shapes</i> )	<i>Compliance</i> Maksimal	<i>Compliance</i> Minimal
<i>Odyssey White Steel 1 Putter</i>	5.99	<i>Bending</i>	Titik Uji ke-3 ( <i>Putter Head</i> )	Titik Uji ke-24 ( <i>Shaft</i> )
	51.99	<i>Torsional</i>	Titik Uji ke-5 ( <i>Putter Head</i> )	Titik Uji ke-24 ( <i>Shaft</i> )
<i>Putter Head</i> Baja Karbon AISI 1045	6.99	<i>Bending</i>	Titik Uji ke-4 ( <i>Putter Head</i> )	Titik Uji ke-29 ( <i>Shaft</i> )
	40.94	<i>Torsional</i>	Titik Uji ke-6 ( <i>Shaft</i> )	Titik Uji ke-29 ( <i>Shaft</i> )
<i>Putter Head</i> Paduan Aluminium 7075-T651	8.99	<i>Bending</i>	Titik Uji ke-5 ( <i>Putter Head</i> )	Titik Uji ke-29 ( <i>Shaft</i> )
	55.92	<i>Torsional</i>	Titik Uji ke-7 ( <i>Shaft</i> )	Titik Uji ke-29 ( <i>Shaft</i> )

##### 4.4.1 Perbandingan Grafik Modus Getar pada Poros (*Shaft*)

Gambar 4.52 merupakan grafik modus getar dari poros (*shaft*) *odyssey white steel 1 putter*, *putter golf* dengan *putter head* bermaterial baja karbon AISI 1045 dan *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 pada frekuensi natural pertama. Hasil dari *experimental modal analysis* didapat bahwa besar nilai frekuensi pertama pada *odyssey white steel 1 putter*

adalah sebesar 5.99 Hz, *putter golf* dengan *putter head* baja karbon adalah sebesar 6.99 Hz sementara nilai frekuensi pertama pada *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium adalah sebesar 8.99 Hz. Terlihat pada grafik bahwa dengan poros (*shaft*) serta pegangan (*grip*) yang sama, nilai *displacement* per satuan gaya (*compliance*) pada paduan aluminium 7075-T651 memiliki nilai yang lebih besar daripada baja karbon AISI 1045. Hal tersebut membuktikan bahwa dengan adanya perbedaan material pada *putter head* akan mempengaruhi respon getar dari *putter golf*.

#### Perbandingan Grafik Modus Getar pada Poros (*Shaft*)

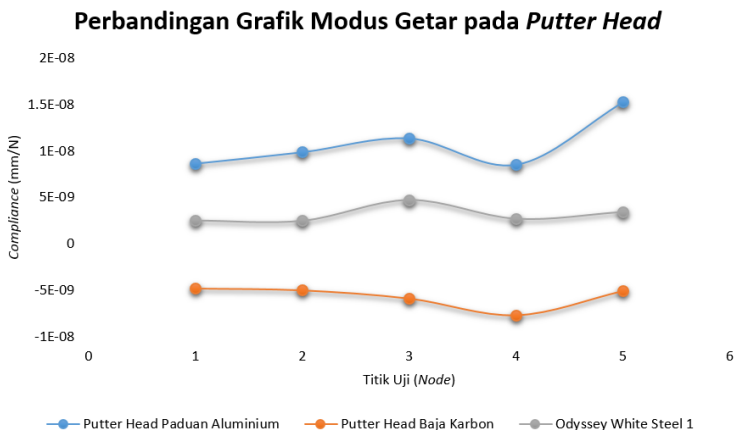


Gambar 4. 52 Grafik Modus Getar (*Mode Shapes*) Poros (*Shaft*) dengan *Putter Head* Paduan Aluminium 7075-T651 dan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045 pada Frekuensi Natural Pertama.

Respon getar yang ditunjukkan pada gambar 4.52 tampak bahwa terjadi perbedaan respon getar antara *odyssey white steel 1 putter* dengan *putter golf* yang memiliki *putter head* baja karbon AISI 1045 maupun paduan aluminium 7075-T651. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya perbedaan geometri pada *putter head* yang dimiliki *odyssey white steel 1* dengan *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 maupun paduan aluminium 7075-T651. Perbedaan geometri pada *putter head* dapat dikatakan berpengaruh terhadap bentuk dari modus getar (*mode shapes*) yang ada dikarenakan pada *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 dan paduan aluminium 7075-T651 memiliki

kemiripan bentuk modus getar namun nilai *displacement* yang berbeda.

#### 4.4.2 Perbandingan Harga *Compliance* Rata-Rata pada *Putter Head*



Gambar 4. 53 Grafik Modus Getar (*Mode Shapes*) *Putter Head* dengan *Putter Head* Paduan Aluminium 7075-T651 dan *Putter Head* Baja Karbon AISI 1045 pada Frekuensi Natural Pertama.

Gambar 4.53 merupakan grafik modus getar (*mode shape*) dari titik uji 1-5 yaitu pada bagian *putter head* dari *putter golf*. Terlihat pada grafik bahwa modus getar (*mode shapes*) yang terjadi memiliki kesamaan bentuk. *Trendline* dari grafik modus getar (*mode shape*) pada kedua material cenderung naik hingga ke titik uji ke-3 namun mengalami penurunan pada titik uji ke-4 dan naik kembali pada titik uji ke-5. Kemiripan yang terjadi pada bagian *putter head* dapat terjadi dikarenakan adanya kondisi batas yang digunakan yaitu *clamped-free boundary condition*. Untuk mendapatkan modus getar (*mode shapes*) seperti pada gambar 4.52 nilai frekuensi natural dari *odyssey white steel 1 putter* adalah sebesar 5.99 Hz, *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 adalah sebesar 8.99 Hz sementara *putter golf* dengan

*putter head* baja karbon AISI 1045 adalah sebesar 6.99 Hz. Sama halnya dengan modus getar (*mode shape*) yang terjadi pada bagian poros (*shaft*) dari *putter golf*, nilai *displacement* per satuan gaya (*compliance*) dari paduan aluminium lebih besar dibandingkan dengan nilai *displacement* per satuan gaya (*compliance*) *putter head* baja karbon.

Adanya perbedaan nilai *displacement* serta frekuensi natural yang terjadi dikarenakan adanya perbedaan karakteristik dari kedua material yang cukup signifikan. Dimana *putter head* dengan material paduan aluminium 7075-T651 memiliki kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan material baja karbon AISI 1045. Selain itu, paduan aluminium 7075-T651 memiliki massa yang lebih ringan dibandingkan baja karbon AISI 1045. Sehingga nilai frekuensi natural serta *displacement* yang terjadi menjadi lebih besar pada paduan aluminium 7075-T651.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dipaparkan hasil analisa pembahasan yang telah dilakukan dan disimpulkan kedalam beberapa kesimpulan, serta diberikan pula saran-saran yang dapat dijadikan rujukan atau rekomendasi untuk penelitian-penelitian serupa kedepannya.

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil dari simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *finite element* didapatkan enam buah frekuensi natural dan enam buah modus getar (*mode shapes*) dari tiap *putter golf*. Frekuensi natural pertama menghasilkan *bending mode shapes* dengan nilai frekuensi natural 6.56 Hz pada *Odyssey White Steel 1 Putter*, 4.47 Hz pada *putter head* baja karbon AISI 1045 dan 6.87 Hz pada *putter head* paduan aluminium 7075-T651. Frekuensi natural kedua menghasilkan *2<sup>nd</sup> bending mode shape* dengan nilai frekuensi natural 7.64 Hz pada *Odyssey White Steel 1 Putter*, 4.51 Hz pada *putter head* baja karbon AISI 1045 dan 6.92 Hz pada *putter head* paduan aluminium 7075-T651. Frekuensi natural ketiga menghasilkan *torsional mode shape* dengan nilai frekuensi natural 69.30 Hz pada *Odyssey White Steel 1 Putter*, 38.63 Hz pada *putter head* baja karbon AISI 1045 dan 50.92 Hz pada *putter head* paduan aluminium 7075-T651. Frekuensi natural keempat menghasilkan *saddle mode shape* dengan nilai frekuensi natural 83.46 Hz pada *Odyssey White Steel 1 Putter*, 41.12 Hz pada *putter head* baja karbon AISI 1045 dan 51.71 Hz pada *putter head* paduan aluminium 7075-T651. Frekuensi natural kelima menghasilkan *2<sup>nd</sup> torsional mode shape* dengan nilai frekuensi natural 97.45 Hz pada *Odyssey White Steel 1 Putter*, 60.74 Hz pada *putter head* baja karbon AISI 1045 dan 74.42

Hz pada *putter head* paduan aluminium 7075-T651. Frekuensi natural keenam menghasilkan  $2^{nd}$  *saddle mode shape* dengan nilai frekuensi natural 217.71 Hz pada *Odyssey White Steel 1 Putter*, 99.62 Hz pada *putter head* baja karbon AISI 1045 dan 124.3 pada *putter head* paduan aluminium 7075-T651.

2. Hasil dari *experimental modal analysis* pada ketiga *putter golf* didapatkan dua frekuensi natural dan dua modus getar (*mode shapes*). Frekuensi natural pertama menghasilkan *bending mode shape* dengan nilai frekuensi natural 5.99 Hz pada *Odyssey White Steel 1 Putter*, 6.99 Hz pada *putter head* baja karbon AISI 1045 dan 8.99 Hz pada *putter head* paduan aluminium 7075-T651. Frekuensi natural kedua menghasilkan *torsional mode shape* dengan nilai frekuensi natural 51.99 Hz pada *Odyssey White Steel 1 Putter*, 40.94 Hz pada *putter head* baja karbon AISI 1045 dan 55.92 Hz pada *putter head* paduan aluminium 7075-T651.
3. Perbedaan nilai deformasi atau *displacement* serta adanya perbedaan nilai *compliance* pada penelitian ini dikarenakan adanya perbedaan geometri, masSa yang bergetar serta material dari masing-masing *putter golf*.
4. Perbedaan nilai frekuensi natural dari *putter golf* dengan *putter head* baja karbon AISI 1045 dan *putter golf* dengan *putter head* paduan aluminium 7075-T651 yang memiliki bentuk desain sama dikarenakan adanya perbedaan nilai *modulus young* dari tiap material. Besarnya nilai deformasi atau *displacement* serta *compliance* yang terjadi juga tidak terlepas dari karakteristik masing-masing material. Perbandingan dari kedua material tidak dapat dilakukan dikarenakan massa dari keduanya tidak sama sehingga apabila dibandingkan hasilnya tidak absolut.



## 5.2 Saran

Dari simulasi serta eksperimen yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa saran serta rekomendasi untuk penelitian serupa berikutnya, yaitu :

1. Pengambilan data pada saat melakukan *experimental modal analysis* dilakukan pada saat ruang laboratorium dalam kondisi senyap sehingga hasil yang didapatkan bisa memiliki nilai koherensi yang tinggi.
2. Penelitian dapat dilakukan dengan mengubah kondisi batas (*boundary condition*) yang digunakan seperti *hands-free* dan *free-free* sesuai kebutuhan analisa.
3. Penelitian dapat dilakukan dengan mengganti sumbu tinjauan deformasi untuk mengetahui pengaruh getaran yang terjadi terhadap arah gerak bola terhadap deformasi yang terjadi pada sumbu lain.
4. Penelitian dilakukan pada jenis stik golf yang berbeda seperti *iron* atau *woods* dengan fokus efek getaran yang terjadi terhadap kenyamanan pengguna stik golf.
5. Penelitian dilakukan dengan menjaga massa tetap sama agar didapatkan hasil yang lebih absolut. Untuk mendapatkan massa yang sama dengan desain yang sama namun material berbeda, pada material yang memiliki berat lebih ringan dapat ditambahkan *insert* tanpa merubah desain utama yang ada.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *International Golf Federation. History of Golf.*  
<https://www.igfgolf.org/about-golf/history/>.  
Diakses : 11 November 2016.
- [2] Persatuan Golf Indonesia. Tentang Persatuan Golf Indonesia.  
[http://www.pbpgi.org/index.asp?fuseaction=about\\_us\\_history](http://www.pbpgi.org/index.asp?fuseaction=about_us_history)  
Diakses : 11 November 2016.
- [3] Wikipedia. Golf.  
<https://id.wikipedia.org/wiki/Golf#Peralatan>  
Diakses 11 November 2016
- [4] Wikipedia. *Putter*.  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Putter> .  
Diakses : 11 November 2016.
- [5] *Best Putters. Choosing a Putter.*  
<http://www.best-putter.com/choosing-a-putter.html> .  
Diakses : 11 November 2016.
- [6] R&A, USGA, Persatuan Golf Indonesia. 2015. Peraturan Golf dan Peraturan Status Amatir Efektif Januari 2016. USA
- [7] Wikipedia. *Golf Course*.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Golf\\_course#Putting\\_green](https://en.wikipedia.org/wiki/Golf_course#Putting_green) .  
Diakses : 22 November 2016
- [8] Wikipedia. *Golf Club*.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Golf\\_course#Putting\\_green](https://en.wikipedia.org/wiki/Golf_course#Putting_green) .  
Diakses : 22 November 2016
- [9] Avner, H. Sydney. *Introduction to Physical Metalurgy*.
- [10] Wahid. Ilmu Logam II.
- [11] Braunwart, Paul R. 1998. *Experimental and Analytical Examination of Golf Club Dynamics*. Virginia
- [12] JIS S45C Normalized.  
<http://matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=5682e01583604573ab367e6b1e7f09bf> .  
Diakses : 9 Desember 2016
- [13] EML 2322L – Mae Design And Manufacturing Technology – CNC Machining.

[http://www2.mae.ufl.edu/designlab/Lab%20Assignments/EM\\_L2322L-CNC%20Machining.pdf](http://www2.mae.ufl.edu/designlab/Lab%20Assignments/EM_L2322L-CNC%20Machining.pdf) .

Diakses : 8 Desember 2016.

- [14] Groover, P Mikell. *Automation, Production Systems And Computer Integrated Manufacturin 3<sup>rd</sup> Edition*.
- [15] Pradiga, Dimas Angga. 2015. Studi Eksperimental Analisis Modal Untuk Menguji Karakteristik Modus Getar Pada Rangka Raket Tenis. Surabaya. Indonesia.
- [16] D. PELZ. 2000. Pelz's Putting Bible : The complete guide to mastering the green. Doubleday. New York.
- [17] MSC Software Corporation. 2011. *MSC Software: MSC Nastran 2012 Dynamic Analysis User's Guide*. USA.
- [18] Abdurohman, Kasim; Sakti, R.M Bayu; dkk. *Normal Mode Analysis for N219 Wing for B-11 Configuration*. Indonesia.

## BIODATA PENULIS



**Sheiyuanaura Imaratianti** dilahirkan di Semarang, 28 Oktober 1995 anak yang terlahir dari orangtua terbaik bernama Teguh Iman Liestyanto dan Dinar Nusanti. Riwayat pendidikan penulis diawali di SD Sumbangsih Jakarta Selatan, pada tahun 2001-2007. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN 19 Jakarta pada tahun 2007-2010, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMAN 70 Jakarta pada tahun 2010-2013. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur Program Kemitraan dan Mandiri (PKM).

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen di kelas maupun asisten Laboratorium Metalurgi. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi staff Divisi *Internal* di Mesin ITS Autosport pada tahun 2014-2015. Pada tahun 2015-2016, penulis aktif menjadi Kepala Divisi *Public Relation*.

Motto hidup penulis adalah "*If there's a will there's a way*" menjadikan penulis lebih bersemangat dan berusaha keras untuk mencapai sesuatu yang diinginkannya. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email [naurra28@gmail.com](mailto:naurra28@gmail.com).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*